

中国电力百科全书

用 电 卷



中国电力出版社

目 录

前言

凡例

用电卷序言

条目分类目录

彩图插页目录

正文 1~544

条目汉字笔画索引 545

条目外文索引 (INDEX OF ARTICLES) 550

内容索引 558

条 目 分 类 目 录

说 明

一、本目录供分类查检条目之用。

二、有的条目有多种属性，可能在几个分支学科和分类中出现。例如“用户”条既列入概论分支，又列入用电管理分支。

三、参见条（虚条）的页码采取虚实条兼注的方式，即参见条页码在括号外，被参见条页码在括号内。

四、凡加有 [] 者，不是条目标题，而是分类集合的提示词。例如 [概论]、[用电管理]。

[概论]

用电	458
用电构成	469
[常用技术术语]	
用户	479
用电性质	478
用电量	473
用电容量	474
用电负荷	465
用电负荷级别	466
用电负荷率	467
用电分析	464
用电负荷曲线	467
用电负荷预计	468
用电负荷调整	467
需用率	441
同时率	418
年用电最大负荷利用小时	366
用电最大需量	478
重要负荷	532
保安负荷	6
冲击负荷	26
不对称负荷	17
非线性负荷	217
谐波	439
闪变	388
用电功率因数	468
单位产品（产值）耗电	33

用户负荷计算	483
[行业用电特征]	
农业用电	369
排灌用电	371
[工业用电]	
煤炭工业用电	360
石油及天然气开采用电	393
石油化学工业用电	391
黑色金属工业用电	260
钢铁工业用电	231
铁合金工业用电	409
有色金属工业用电	489
铝工业用电	354
铜工业用电	419
化学工业用电	268
氯碱工业用电	355
电石工业用电	183
化肥工业用电	265
建筑材料工业用电	284
水泥工业用电	402
机械工业用电	271
纺织工业用电	216
棉纺织工业用电	363
毛纺织工业用电	359
印染工业用电	452
化学纤维工业用电	268
造纸工业用电	494
食品工业用电	394

交通运输用电	310	铜铁损电量	420
市政公用设施用电	399	电费滞纳金	87
高层建筑用电	233	基本电费	273
城市给水设施用电	24	电度电费	84
城市排水设施用电	25	功率因数调整电费	239
城市电车用电	24	用电保证金	464
地下铁道用电	59	电能计量管理	161
路灯用电	352	电能表	157
居民生活用电	322	特种电能表	406
用电管理	472	电能表误差	160
[用电管理术语]		电能表调整	159
用户	479	电能表检验	158
用电容量	474	电能计量方式	161
用电负荷	465	电能计量装置	161
用电功率因数	468	电能计量装置接线	162
供电电源	239	电能计量装置综合误差	164
独立电源	210	差错电量计算	20
备用电源	9	互感器二次负载	263
供电质量	242	互感器检验	264
供电方式	240	用电安全管理	461
供电方案	240	用户电气事故管理	481
供电点	239	用电安全检查	463
受电点	400	用户电气试验	481
产权分界点	22	用户电工管理	480
供电贴费	241	并网管理	16
供用电合同	248	用户电力调度管理	480
供用电协议	250	用户继电保护管理	487
停电	413	用户谐波管理	487
限电	438	用户电压无功管理	482
用电负荷管理	465	农村用电管理	367
供用电规则	247	计划用电	276
用电监察	473	用电指标	478
营业管理	457	电耗定额	92
报装	8	电力负荷控制装置	118
用电申请	475	电力定量器	118
接电	312	电力时控开关	145
违章用电	422	音频电力负荷控制装置	450
窃电	379	无线电电力负荷控制装置	431
变更用电	11	合理用电	258
电费管理	86	电能平衡	165
		电能利用率	165

节电量	313	插头	21
节电效益评估	314	插座	22
合理用电标准	258	指示灯	519
夏时制	436	热过载继电器	382
节约用电技术	314	低压避雷器	41
电动机节电技术	76	低压配电室	53
变压器节电技术	13	低压配电装置	55
降低线损技术	285	低压成套配电装置	41
风机节电技术	219	指示仪表	519
泵类节电技术	10	用电无功补偿装置	475
电加热节电技术	104	低压线路	55
电气照明节电技术	174	低压电缆线路	42
变流装置节电技术	11	低压架空线路	46
空调节电技术	330	用电安全技术	462
余热发电	489	人体触电	385
[用户低压配电及安全用电技术]		跨步电压	336
低压配电	51	接触电压	311
低压电器	45	安全电压	1
低压断路器	45	安全距离	1
刀开关	36	工作接地	239
负荷开关	220	保护接地	7
无触点开关	428	重复接地	26
接触器	311	接地装置	312
起动机	373	低压配电系统接地型式	53
熔断器	386	静电	321
主令电器	533	电气安全用具	166
控制器	335	触电急救	27
行程开关	440	电气设备防火	171
按钮	2	用电设备预防性试验	474
组合开关	542	保安电源	6
电阻器	206	双电源连锁装置	401
变阻器	15	屋内低压配电线安装规程	428
制动器	532	电气照明	172
电磁铁	66	[照明常用术语]	
倒顺开关	37	光通量	253
接线端子	313	发光强度	214
调压器	408	照度	497
稳压器	425	亮度	347
漏电电流动作保护器	349	眩光	447
安全照明变压器	2	色温	388

显色指数	438	交流电动机	288
电光源	88	感应电动机	222
白炽灯	3	笼型感应电动机	348
卤钨灯	350	绕线转子感应电动机	381
气体放电灯	377	单相感应电动机	33
荧光灯	454	异步电动机(见感应电	
高压汞灯	236	动机)	450(222)
金属卤化物灯	315	同步电动机	414
高压钠灯	237	同步电动机励磁	416
低压钠灯	50	交直流两用电动机	310
氙灯	436	直线电动机	531
闪光灯	389	控制电机	331
黑光灯	259	自整角机	541
霓虹灯	365	自整角变压器	541
电致发光灯	193	感应同步器	229
无影灯	432	测速发电机	19
照明器	512	伺服电动机	31
电气照明设计	175	力矩电动机	343
照度标准	498	步进电动机	17
照度计算	506	低惯量电动机	40
照明分类	508	交流整流子电动机	306
一般照明	449	防爆电机	214
局部照明	323	潜水电机	379
混合照明	269	潜油电机	379
应急照明	453	湿热带电机	390
疏散照明	400	交流电动机起动	292
安全照明	1	交流电动机直接起动	298
备用照明	9	交流电动机降压起动	290
特殊场所照明	405	交流电动机转子串电阻起动	300
照明控制	510	交流电动机频敏变阻器起动	292
光电照明控制	252	同步电动机准同步起动	417
音频照明控制	451	电动机变频起动	76
调光照明控制	407	电动机调速	79
定时照明控制	207	直流电动机调速	528
电力拖动	145	直流电动机串电阻调速	527
电力拖动典型负载特性	146	电动发电机组直流调速	69
电力拖动负载工作制	147	电机放大机直流调速	101
电力拖动控制设备	147	磁放大器直流调速	29
电动机	69	晶闸管相位控制直流调速	317
直流电动机	523	斩波控制直流调速	495
		直流电动机恒转矩调速	527

直流电动机调磁调速	527
[直流电动机调磁调压调速]	
独立控制调压调磁直流调速	211
非独立控制调压调磁直流调速 ...	216
交流电动机调速	296
交流变极调速	286
交流调压调速	305
转子串电阻交流调速	540
交流串级调速	287
电磁转差离合器调速	67
变频调速	12
交流-交流直接变频调速	301
交流-直流-交流电压型变频调速	308
交流-直流-交流电流型变频调速	307
无换向器电机调速	429
交流脉宽调制变频调速	303
转差频率控制速度闭环变频调速	533
交流电动机矢量控制	293
机组变频调速	273
[电动机制动]	
直流电动机制动	530
交流电动机制动	299
[电动机保护]	
直流电动机保护	526
交流电动机保护	289
电力拖动控制系统	147
转速控制	534
稳速控制	424
宽调速控制	336
转速模拟控制	535
转速数字控制	538
转速频率控制	537
张力控制	496
位置控制	423
伺服系统	32
交流电轴	301
电子控制设备的电磁兼容性	194
电控设备故障自诊断	117

[常用设备电控系统]

矿井提升机电控系统	337
电梯电控系统	187
起重机电控系统	373
风机泵类电控系统	218
可逆热轧机电控系统	327
可逆冷轧机电控系统	325
热连轧机电控系统	382
冷连轧机电控系统	340
长网造纸机电控系统	22
超级压光机电控系统	23
复卷机电控系统	220
船模拖车电控系统	28
索道电控系统	403

[电加热及电焊]

电加热	103
电阻加热	203
电热元件	180
电弧加热	93
感应加热	223
电流透入深度	153
高频电场加热	234
介质加热(见高频电场加热)	315(234)
微波加热(见高频电场加热)	421(234)
红外加热	261
等离子加热	38
电子束加热	197
激光加热	275
电热设备	177
电炉	153
电阻炉	203
控制气氛电阻炉	334
真空电阻炉	514
直接电阻加热设备	520
电热浴炉	179
盐浴炉(见电热浴炉)	449(179)
流态粒子电炉	348
电弧炉	93

炼钢电弧炉	344	电解质	115
钢包精炼炉	230	电极反应	102
埋弧炉	357	电极势	103
真空电弧炉	513	电动序	84
短网	211	电极极化	102
电弧炉电极	94	电化当量	97
电弧炉电极自动调节器	95	法拉第电解定律	214
电磁搅拌	65	电化学工业	100
感应炉	224	电解	105
感应熔炼炉	226	水电解	402
感应透热设备	230	食盐电解	397
感应淬火设备	221	钢电解	418
真空感应烧结炉	516	锌电解	440
感应器	225	镍电解	366
单晶炉	33	铝电解	353
电渣重熔炉	192	镁电解	362
电炉变频电源	153	[电化学加工]	
电炉变压器	155	电镀	84
建筑物电加热设施	284	电铸	194
电焊	90	阳极氧化	449
电弧焊	92	电抛光	165
手弧焊	399	电解加工	112
埋弧焊	357	化学电源	266
气体保护电弧焊	375	贮备电池	533
氩弧焊(见气体保护电		原电池	490
弧焊)	449(375)	蓄电池	441
弧焊电源	262	铅酸蓄电池	379(441)
电阻焊	201	碱性蓄电池	284(441)
高频焊	235	钠-硫蓄电池	365(441)
电渣焊	192	燃料电池	381
等离子弧焊	37	光电化学电池	251
电子束焊	196	电化学腐蚀	100
钎焊	378	电化学防护	99
激光焊	274	电解直流电源	114
电焊机	91	硅半导体整流器	254
西安电炉研究所	434	电解电源整流电路	107
		整流器谐波	518
电化学	97	电解整流所	112
[电化学术语]		直流大电流测量装置	521
电子导体	194	北京有色冶金设计研究	
离子导体	343	总院	9

电力牵引	133
电气化铁路	167
磁浮铁路	30
地下铁道	57
北京地铁	8
独轨铁路	208
公共电车	239
有轨电车	488
无轨电车	429
轻轨交通	380
电力牵引供电系统	142
电力牵引供电方式	139
电力牵引直接供电方式	144
电力牵引 BT 供电方式	134
电力牵引 AT 供电方式	134
电力牵引 CC 供电方式	136
电力牵引供电计算	140
电力牵引负荷特征	137
交流电气化铁道负序电流	300
电力牵引高次谐波	137
电力牵引功率因数	138
电力牵引迷散电流	143
电力牵引变电所	135
电力牵引远动装置	143
电气化铁路接触网	169
电气化铁路接地网	171
电力机车	119
电力机车变流	121
电力机车调速	128
电力机车控制	126
电力机车电机电器	124
电动车组	68
铁路信号	410

[家用电器及其他]

家用电器	280
家用电器能耗	281
家用电器噪声	282
[家用电器配件]	
时间控制器	394
温度控制器	424

[家用电气器具]

[制冷器具]

电冰箱	61
冷冻箱	340
制冰机	532
冷饮机	342
冰淇淋机	16

[空气调节器具]

房间空气调节器	215
空气加湿器	329
空气去湿器	330
空气清洁器	329
空气帘	329

[通风器具]

电风扇	87
换气扇	269

[清洁器具]

洗衣机	434
真空吸尘器	517
地板打蜡机	57

[熨烫器具]

电熨斗	191
干衣机	221

[厨房器具]

电饭锅	85
电炒锅	63
电烤箱	116
电水壶	187
电热水器	178
电热开水器	177
电咖啡壶	115
家用电炉	279
电灶	191
电磁灶	66
微波炉	421
食物搅拌器	397
食物混和器	397
榨汁器	495
电动切片机	82
电动绞肉机	81
果菜去皮机	257

洗碟机	434
食物残渣处理机	396
排油烟机	371
[取暖器具]	
家用电取暖器	283
电热毯	178
[整容器具]	
电动剃须刀	82
电推剪	190
电吹风	64
电热梳	178
多用整发器	213
烘发器	260
干手器	221
[娱乐器具]	
电动玩具	83
电声乐器	182
电子乐器	200
自动照相机	541
电子游戏机	199
[声像器具]	
电视接收机	184
录像机	350
摄像机	390
激光唱机	273
广播收音机	254
磁带录音机	28
电唱机	63
扩音机	338
立体声放音系统	344
组合音响	543

卡拉 OK	324
[其他电器用具]	
静电复印机	321
微型计算机	422
办公自动化	5
医用电子器具	450
B 型超声诊断仪	3
电子针灸按摩器	201
心电图记录仪	439
脑电图记录仪	365
空气负离子发生器	328
诊断用 X 射线机	517
计算机 X 射线断层	
诊断仪	277
核磁共振成像诊断仪	259
电子显微镜	199
家用电动缝纫机	278
家用电子缝纫机	283
家用电动工具	278
电烙铁	117
电钻	207
冲击电钻	26
电锤	64
电动角向磨光机	81
电动平板摆动式砂光机	81
电刨	60
电圆锯	190
电动刃磨砂轮机	82
电喷枪	166
电动修枝机	83
电动剪草机	81

彩图插页目录

1. 中国最早的 15 盏电弧灯地理位置 图(1882 年 7 月 26 日在上海点燃)	1	29. 工频感应加热炉	9
2. 1887 年矗立在上海外白渡桥上的 一盏电弧灯	1	30. 无心感应加热炉	9
3. 北京天安门夜景	2	31. 内热型真空电阻炉	9
4. 上海外滩夜景	2	32. 箱式电阻炉结构之一——固定 底式	10
5. 上海南浦大桥夜景	2	33. 箱式电阻炉结构之二——车底式	10
6. 埃菲尔铁塔夜景	3	34. 80 t 钢包精炼炉	10
7. 悉尼歌剧院和悉尼的夜色	3	35. 40 t 电弧炉	10
8. 1993 年中国用电构成示意图	4	36. 世界上最大的 200 t 级电渣重 熔炉	11
9. 供电部门的调度室	4	37. 气冷式炉体基本结构	11
10. 供电部门利用微机实现对用户的 信息管理、帐单打印和统计分析	4	38. 电加热元件	11
11. 农村提灌站	5	39. 碳化硅元件	11
12. 纺织企业的万头气流纺车间	5	40. 钢包精炼炉	12
13. 轿车生产流水线	5	41. 锌电解车间(电锌 10 万 t/年)	12
14. 地下卸煤沟	5	42. 锌电解车间剥锌片机	12
15. 炼钢厂炼钢炉出钢	5	43. 铜电解	12
16. 照明控制系统	6	44. 镍电解整流装置 500 V/16 kA	13
17. 电子节能荧光灯	6	45. 镍电解整流变压器	13
18. 全自动应急灯	6	46. 0.37~250 kW ALTIVAR 交流 变频器	13
19. ME 系列框架式空气断路器 (AEG 许可证)	6	47. 各种干电池	13
20. 各种型号的电能表	6	48. 交流电机变频调速系统——用于 控制恒压变量供水系统	14
21. 各种空气开关	7	49. 合作生产的 2030 mm 冷连轧机组 用于中国宝山钢铁总厂	14
22. 隔离开关、PM6 型遥控式柱上 隔离开关	7	50. 系列单相罩极式电动机	15
23. MSB 系列电磁起动器(ABB 许可证)	7	51. RECTIVAR4 直流电机调速器 (400 A 和 650 A)	15
24. QUICK—GARD 接地故障负 荷开关	7	52. 车厢式旅游索道、吊椅式旅游 索道	15
25. NEMA 启动器	8	53. 100 t 大型塔式起重机	15
26. JR20 系列双金属片式热继电器	8	54. 驱动功率为 3×2600 kW 的风洞	15
27. MASTERBLOC 低压配电柜 (最高达 6300A)	8	55. 激光切割、焊接机	16
28. 接触器	8	56. 钛管自动密封焊机	16
		57. 1000 kW 中频感应加热弯管机	16

58. 中国电气化铁路示意图	17	79. THP2 可编程电子控制恒温器	25
59. 日本的电气化铁路	18	80. 电冰箱、冰柜	25
60. 澳大利亚的电气化铁路	18	81. 洗衣机	26
61. 1882 年英国生产的蒸汽机车	18	82. 电视机	26
62. 1881 年 6 月 2 日, 中国制造的 “龙号”机车	18	83. 卡拉 OK 录相机	27
63. 20 世纪初, 中国广九铁路使用的 蒸汽机车	19	84. 摄像机	27
64. 电力牵引变电所	19	85. 照相机	27
65. 中国天津火车站进站大厅	19	86. 组合音响	28
66. 世界最新磁浮铁路及磁浮列车	20	87. 激光视盘机	28
67. 行驶在中国贵昆电气化铁路上的 列车	22	88. 空气调节器	28
68. 施工中的电气化铁路接触网	22	89. 电风扇、排风扇	29
69. 中国韶山 5 型客运电力机车	22	90. 吸尘器	29
70. 城市有轨电车	23	91. 电热梳	29
71. 中国设计制造的 25 A 型双层客 车内部设施	23	92. 电熨斗	30
72. KDZ 型电动车组	23	93. 电热水器	30
73. 朝鲜平壤地铁车站	24	94. 微波炉	30
74. 城市地铁用变电所 (模型)	24	95. 电磁灶	30
75. 地铁变电所用配电盘	24	96. 电子计算机	31
76. 地铁变电所用监视控制盘	24	97. 电子游戏机	31
77. 琳琅满目的家用电器	25	98. 静电复印机	31
78. ELAN 家用电子系统	25	99. 电子显微镜	32
		100. HRJ 系列红外乳腺检查仪	32
		101. JZ 系列激光医疗仪器	32
		102. X 光机 (1250 mA)	32



anquan dianya

安全电压（safety voltage） 不致危及人身安全的电压。安全电压值取决于人体的电阻和人体允许通过的电流。中国规定的安全电压等级，即为防止因触电造成人身直接伤害事故而采用的由特定电源供电的电压等级；还规定在正常和故障情况下，这个电压等级的上限值为任何两导体间或任一导体与地间均不得超过交流（50~500 Hz）有效值 50 V 或直流（非脉动值）120 V。安全电压应根据使用环境、人员和使用方式等因素选用。安全电压等级及选用举例见表。

安全电压等级及选用举例

安全电压(交流有效值)		选 用 举 例
额定值 (V)	空载上限值 (V)	
42	50	在有触电危险的场所使用的手持式电动工具等
36	43	在矿井、多导电粉尘等场所使用的行灯等
24 12 6	29 15 8	供某些人体可能偶然触及的带电设备选用

为确保人身安全,供给安全电压的特定电源,除采用独立电源外,供电电源的输入电路与输出电路必须实行电气上的隔离。工作在安全电压下的电路必须与其他电气系统和与之无关的可导电部分实行电气上的隔离。当电气设备采用 24 V 以上的安全电压时,必须采取防止直接接触带电体的保护措施,其电路必须与大地绝缘。

(陈金盛)

anquan juli

安全距离（safety distance） 人与带电体、带电体与带电体、带电体与地面（水面）、带电体与其他设施之间需保持的最小距离,又称安全净距、安全间距。安全距离应保证在各种可能的最大工作电压或过电压的作用下,不发生闪络放电,还应保证工作人员对

电气设备巡视、操作、维护和检修时的绝对安全。各类安全距离在国家颁布的有关规程中均有规定。当实际距离大于安全距离时,人体及设备才安全。安全距离既用于防止人体触及或过分接近带电体而发生触电,也用于防止车辆等物体碰撞或过分接近带电体以及带电体之间发生放电和短路而引起火灾和电气事故。安全距离分为线路安全距离、变配电设备安全距离和检修安全距离。

线路安全距离指导线与地面（水面）、杆塔构件、跨越物（包括电力线路和弱电线路）之间的最小允许距离。

变配电设备安全距离指带电体与其他带电体、接地体、各种遮栏等设施之间的最小允许距离。

检修安全距离指工作人员进行设备维护检修时与设备带电部分间的最小允许距离。该距离可分为设备不停电时的安全距离、工作人员工作中正常活动范围与带电设备的安全距离、带电作业时人体与带电体间的安全距离。

(陈金盛)

anquan zhaoming

安全照明（safety lighting） 在正常照明故障时,能使人们陷入危险或使人们造成恐慌而导致人身事故的场所所设置的应急照明。设置安全照明的场所主要有:

(1) 工业厂房中正常照明突然熄灭,在黑暗中可能造成人员挫伤、灼伤或摔伤等危险的场所,如装有刀具裸露在外面无保护措施圆盘锯加工场所,处理炽热金属器件的场所,冶金、浇铸、锻造、热处理场所等。

(2) 车间内地面状况复杂,有地坑、平台或溶液池、槽等危险的场所。

(3) 正在进行危重病人救治工作的急救室或手术室。

(4) 由于人员聚集多或不熟悉环境条件,容易引起惊恐的场所,如大型体育比赛场馆、电影院、剧院或人们难以与外界交流的电梯间等。

安全照明应使用启动迅速、安全可靠的电光源。对于非持续运行的安全照明,应选用白炽灯或卤钨灯;对持续运行的安全照明,宜选用白炽灯、卤钨灯或直管荧光灯。各种高强度气体放电灯,不应作为安全照明光源。

安全照明的照度应不小于该场所一般照明照度的 5%~10%,对于特别危险的作业场所,其照度还应提高,如医院危重患者抢救室的安全照明照度不宜低于正常照明照度的 50%,而医院手术台、剧场安全照明



照度应与正常照明照度相同。

对安全照明的供电要求是在正常电源发生故障时能迅速供电，电源转换时间应在 0.5s 以内。若采用备用发电机作为电源，事故时机组起动时间较长，不能满足要求，一般是采用蓄电池供电或备用自投的电网第二电源供电。如果采用发电机组作安全照明的应急电源时，应设置其他过渡的应急电源，如灯内自带电池的应急灯。

(赵振民)

anquan zhaoming bianyao

安全照明变压器 (transformer for saft lamp) 能取得安全照明灯用电压的降压变压器，又名行灯变压器。安全照明变压器主要用作携带式作业灯、隧道照明灯、高度低于 2.5 m 的公共场所及机床设备局部照明灯用电源，也可作为某些潮湿阴暗或带电操作有危险的工作场所的电动工具电源。

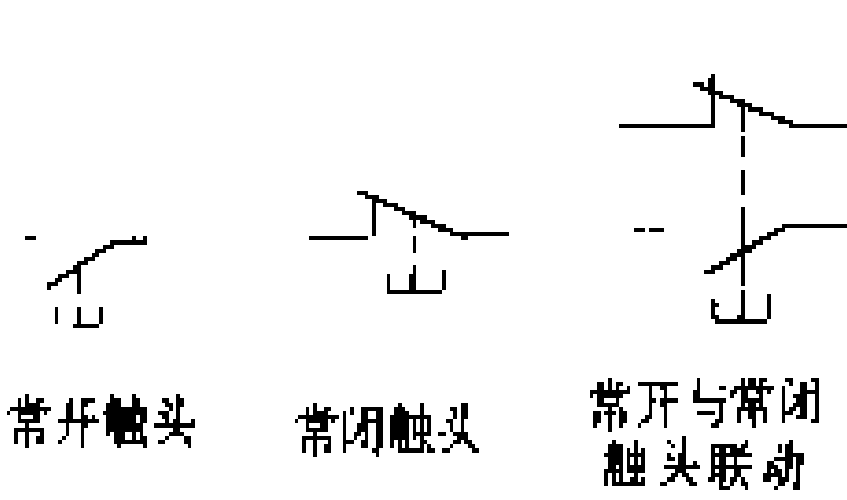
安全照明变压器的电压等级分为 42，36，24，12，6V。安全照明变压器工作原理与普通变压器一样，在结构上，其一、二次绕组之间，一次绕组与地之间都具有良好的绝缘，一、二次绕组之间不允许发生直接的电气联系，即不允许在一次绕组中用抽头降压的方法取得安全电压。安全照明变压器上设置接地端子，使用前

应先接地以确保用电安全。

(甘惠云 方鸿发)

anniu

按钮 (push button) 一种用人工操作，并具有贮能(弹簧)复位的主令电器。按钮主要用于发布操作命令，接通或分断控制电路，控制电气与机械设备的运行。按钮的工作原理十分简单，当其常开触头在按钮未被按下前，电路是断开的，按下按钮后，触头闭合，电路被接通；当其常闭触头在按钮未被按下前，电路是闭合的，按下按钮后，触头开断，电路也被分断。按控制电路的工作需要，一只按钮往往可带有多对同时动作的触头。按钮的图形符号如图所示。



按钮的图形符号

按钮的用途极广。如车床的起动与停机、正转与反转等，一般都是由操作人员用手指或手掌按下不同的按钮，用以接通

或断开控制电路。又如塔式吊车的操作，操作人员推动或转动操作杠杆，或者用脚踏的方式使按钮动作，实现吊车的起动、停止、上升、下降、前后、左右、慢速或快速运行。

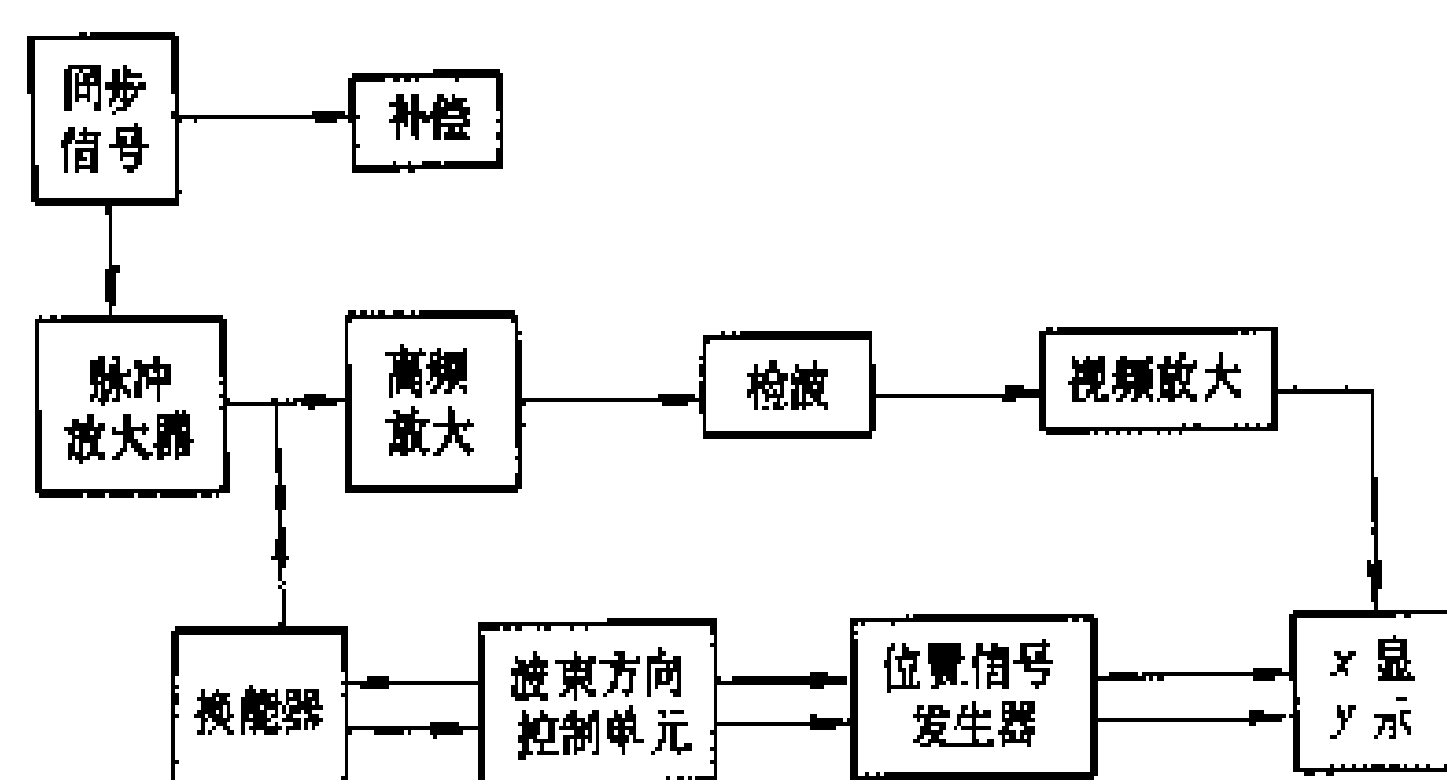
(方鸿发)

B

B xing chaosheng zhenduananyi

B 型超声诊断仪 (B - mode ultrasonic imaging) 一种通过记录进入人体组织的超声波脉冲回波来观察人体深部结构的电子诊断装置, 简称 B 超。B 型超声诊断仪是用脉冲回波系统中得到的幅度信号去调整显示时基度的亮度, 从而构成二维图像予以显示, 故以 Brightness (亮度) 的字头 B 命名。

B 型超声诊断仪结构如框图所示。



B 型超声诊断仪结构框图

(1) 同步信号: 产生周期脉冲信号, 控制各部分电路同步工作。

(2) 脉冲放大器: 产生电压脉冲加至换能器, 从而产生超声波信号。

(3) 换能器: 将脉冲电信号转换成超声波向人体发射, 并将接收的回波转换成高频电信号送入放大电路。

(4) 高频放大: 在补偿电路控制下对接收信号进行放大。

(5) 补偿: 由于超声波在人体内传播有一定衰减, 因此对从不同界面来的回波的放大量也不同, 为克服深度对信号的影响, 需要对放大器进行补偿。

(6) 检波和视频放大: 将高频回波信号中的有用信息检出, 并放大至显示要求。

(7) 波束方向控制和位置信号发生器: 控制波束发射方向, 同时控制位置信号发生器产生相应的偏转电压 (x 、 y 偏转) 加到显示器的扫描电路中。

(8) 显示器: 根据光点的位置 (x 、 y) 和带有超声回波信息的视频信号, 可显示出二维的图像。

自 1946 年雷达测距技术应用于无损检测后, 许多

人开始研究其在医学上的应用, 1950 年, 在医学上开始应用。1955 年, 随着高灵敏度压电陶瓷换能器的问世, 加上随后电子与计算机科学的发展, 给医用超声技术带来了巨大的变化。

B 型超声诊断仪的特点: ①安全, 在无创诊断成像中, 超声诊断较 X 线成像、放射性同位素成像等有更

大的安全性; ②直观, B 型超声诊断仪是二维成像, 可直接观察器官形态; ③直接观察软组织, 根据超声成像的特点和不同的探头形式、不同的扫描方式, 可观察不同部位的软组织器官; ④经济, B 型超声诊断仪有相对低廉的价格, 便于普及。

通常使用的 B 型超声诊断仪主要有机械扫描装置、电子线形扫描装置和电子扇形扫描装置。除此以外, 还有大型的综合设备及各类专用设备。前者有 8 个聚焦探头, 图像清晰度达 4000 线/帧, 后者如超声内窥镜, 重量仅 1.4 kg 的手提 B 型超声诊断仪等。

微处理机的应用是 B 型超声诊断仪的主要发展方向。数字化与各种计算机技术使 B 型超声诊断仪具有多种功能, 图像更加清晰, 可显示多种文字、数字说明, 并进行长度、深度、面积以至胎龄的计算与显示等。此外, 新的探头和扫描技术的引入, B 型超声诊断仪与多普勒仪等的结合, 使得 B 型超声诊断仪的功能大大扩展, 性能有更大的提高。

(周 奕)

baizhideng

白炽灯 (incandescent lamp) 电流加热发光体 (灯丝) 至白炽状况而发光的电光源。白炽灯是一种热辐射光源, 能量的转换效率很低, 只有 2%~4% 的电

能转换为眼睛能够感受到的光。但白炽灯具有显色性好、光谱连续、使用方便等优点, 因而被广泛应用。

结构 白炽灯的一般结构如图 1 所示。它主要由灯丝、玻壳和灯头组成。灯丝通常为钨丝, 可绕成单螺旋, 也可绕成双螺旋, 并经过内、外导线封入玻壳内。内、外导线从灯头导入电流给灯丝, 同时又起支撑灯丝的作用。灯的内导线一般使用镀镍铜丝或镀镍铁丝。在芯柱的封接部分, 使用杜美丝。普通照明灯有两根外导线, 其中一根使用康铜丝, 作保险丝用; 另一根使用铜丝。玻壳使用钠系透明玻璃 (sodo-line silicate

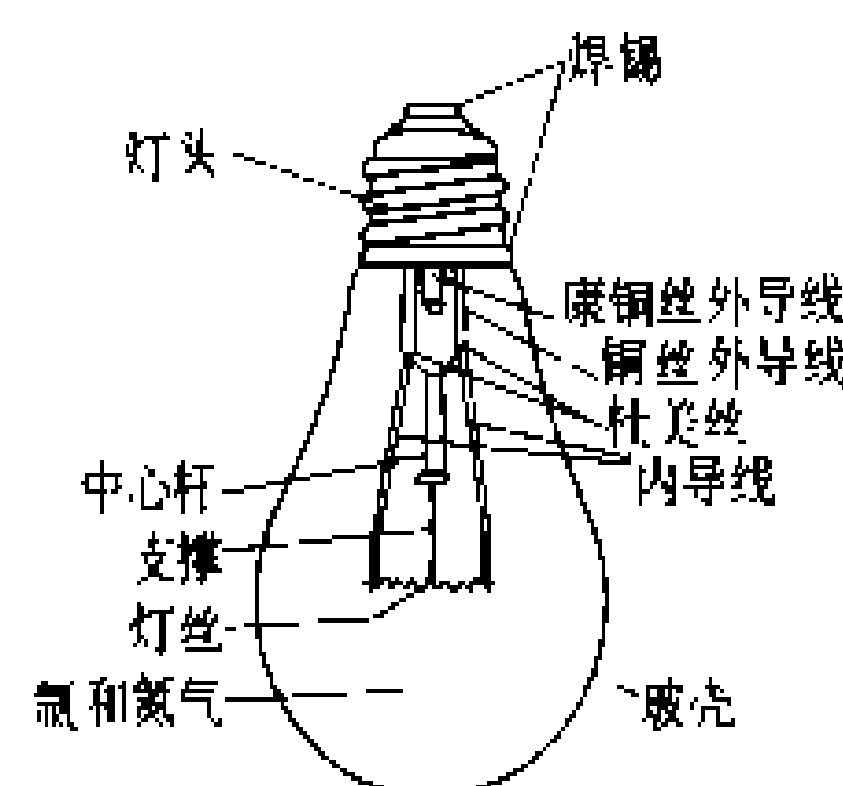


图 1 普通照明白炽灯的结构和各部件名称

普通照明灯有两根外导线, 其中一根使用康铜丝, 作保险丝用; 另一根使用铜丝。玻壳使用钠系透明玻璃 (sodo-line silicate



glass),用吹泡机吹制成型。为了减低发光体表面亮度造成的眩光,在玻壳的内表面,用氢氟酸进行化学处理,即内磨砂;也可在玻壳的内表面涂以白色的无机粉末,以提高灯的柔光性能,降低眩光;有些灯泡做成反射型的,则在玻壳内上半部蒸镀一层反光铝膜。电流经过灯丝,使灯丝加热,温度可达 2300 K 以上。灯丝的温度越高,灯的发光效率和色温也越高。但是在高温下,灯丝容易气化而降低灯的寿命。为了减缓灯丝的气化速率,在灯泡内充入压力约为 9.3×10^3 Pa 的惰性气

体氩气 (Ar) 和氮气 (N₂)。氩气和氮气的混合比例由额定电压和灯丝温度来决定。如果充入比氩气原子量更大、热导率更低的氪气 (Kr),减缓灯丝气化速率的作用将更大。

种类 按用途分为普通照明白炽灯、投光白炽灯、汽车白炽灯、红外线白炽灯、测光标准灯、影视和舞台照明白炽灯。

普通照明白炽灯 使用比较广泛的电光源。这种灯的分类、特性与使用范围如表所示。

普通照明白炽灯分类、特性与使用范围

种 类	发光效率 (lm/W)		显色性	平均 亮度	配光 控制	寿命 (h)	特 点	使用范围
普通型 (扩散型)	10~15	低	优	高	容易	一般为 1000 (短)	控光方便,易于使用,适用于表现光泽和阴影。光色暖和,适用于气氛照明	住宅与商店等场所的一般照明
透明型	10~15	低	优	很高	很容易		闪耀、光泽和阴影的表现效果好,光色暖和,适用于气氛照明	使用花吊灯,有光泽陈列品照明场合
球 型 (扩散型)	10~15	低	优	高	较难		具有明亮效果,看上去使人感到辉煌温暖,适用于气氛照明	住宅、商店照明
反射型	10~15	低	优	很高	很容易		控光效果很好,光的方向性好,属点光源。适宜于表现光泽、阴影与材料质感	显示灯,商店、气氛照明场所

投光白炽灯 用于建筑夜景、体育场所和商店陈列处的照明。灯的玻壳通常设计成抛物面,并在内表面上真空镀铝,将高亮度灯丝发射出来的光线聚集起来投向一定方位。因用于室外,为防止雨水引起玻壳破裂,采用硬质玻璃外壳。这种灯的特点是光线集中,方向性好。另外也有将抛物面的反射面和透镜直接密封在一起的 PAR 型灯(光束灯)。PAR 型灯反射光的温度很高。为减少反射光中的红外线成分,在灯的透镜内表面涂敷红外线反射膜,或在反射面上蒸镀多层干涉膜,使可见光由前方透射出去,红外线经反射面向灯后方散射掉。PAR 型灯有聚光型和泛光型两种。这种灯的特点是体积小,结构紧凑,使用方便,反射光温度低,而且不需配用反光罩,使用方便,广泛用于商店橱窗、手术室、广场、工地和体育场所的照明。

汽车白炽灯 灯的玻壳反射面镀铝,并与按配光要求设计的前透镜密封在一起的密封式光束型灯。它的灯丝、反射面和透镜的相对位置可设计得十分精确,不仅可用作汽车前灯,也可用作铁路车辆的前灯和信号用灯等。

红外线白炽灯 灯的玻壳设计成反射型。这种灯辐射出的能量中大部分是红外线,所以广泛地应用于房间取暖,美容医疗,农牧业、工业加热干燥等方面。石英管形红外线白炽灯,不仅红外线照射量大,而且体积小,在加热炉和电子复印机中得到广泛应用。

测光标准灯 灯的外壳与灯丝均需专门设计。作为光通测量用的标准灯与普通照明用白炽灯相似,光强标准灯的灯丝为单螺旋平面型。光学高温计用白炽灯,为防止由玻壳的反射面产生的重影,采用钨带灯丝,制成特殊的形状;CIE 色度测量用的标准光源必须使用分布温度为 2856 K 的钨丝白炽灯。

影视和舞台照明白炽灯 这种灯的显色性好,控光与调光方便,安全可靠,使用较多的有 PS 型白炽灯、G 型聚光白炽灯和卤钨灯。

特性 白炽灯的主要特性有能量特性、电压特性、工作特性、点燃与熄灭特性、寿命等。

能量特性 能量特性可以用发光效率来描述。白炽灯所消耗的能量如图 2 所示,其中只有一小部分转换为可见辐射光,很大一部分转换为红外线或被损失掉。白炽灯的发光效率在 13% 左右。

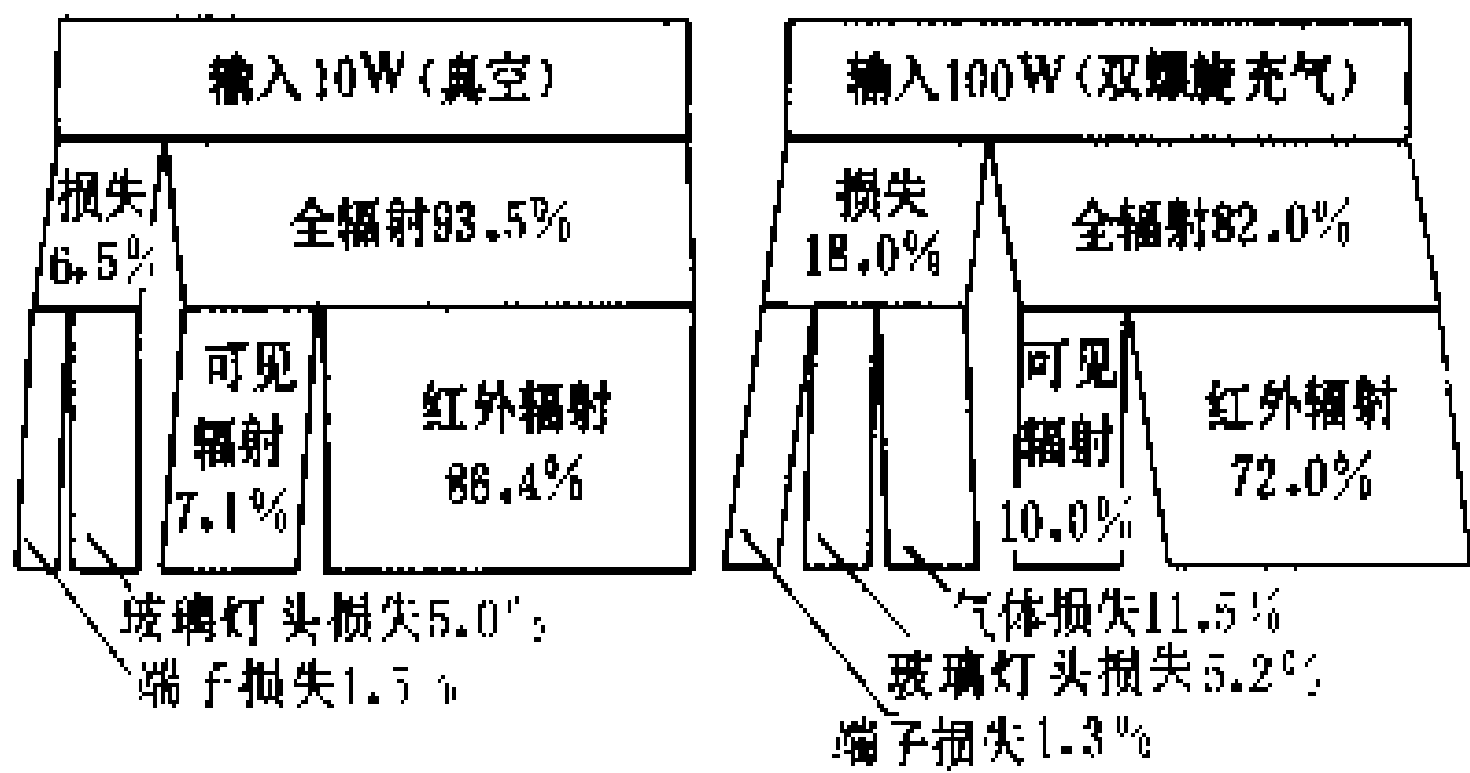


图 2 白炽灯的发光效率举例

电压特性 白炽灯的灯丝温度、电流、功率、光通量、光效和寿命均随所加电压的变化成指数函数变化,并用特征指数描述其变化规律。图3表示出白炽灯的电压变化特性曲线。

工作特性
白炽灯在点灯过程中,灯丝的形状、填充气体的纯度、灯内残余

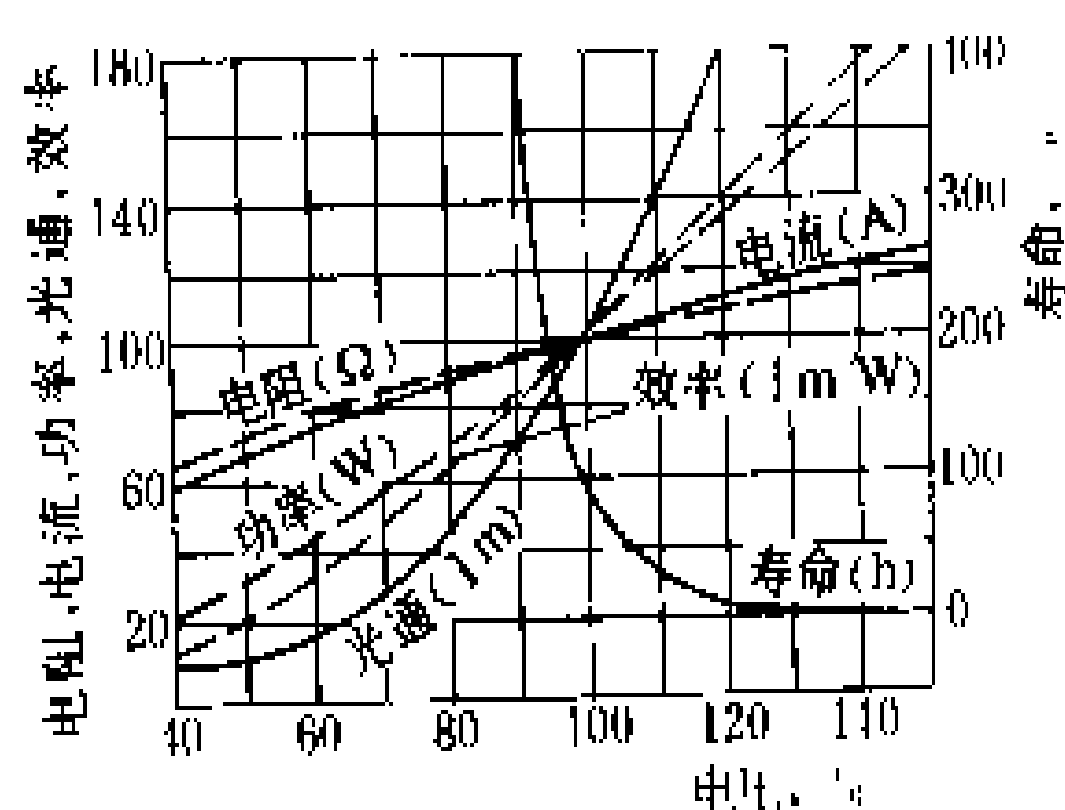


图3 随电压变化而变化的特性曲线

气体的成分、玻壳尺寸等都与灯的光通量变化有关。图4表示了白炽灯光通量的变化情况。

点燃与熄灭特性 因白炽灯的灯丝为热辐射体,

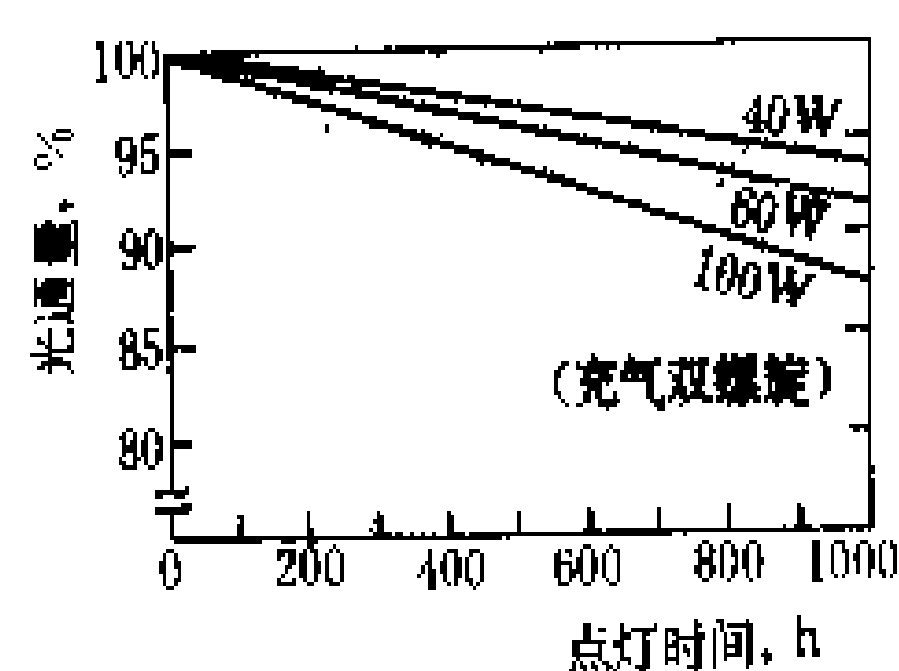


图4 100 V 普通照明灯泡点灯中的光通量变化

灯丝达到一定温度需要有一个时间。开灯时,从对灯施加电压到发出额定光通量为止,需数百毫秒时间;在关灯时,情况相反。灯丝电流值愈大,所需时间愈长。在开灯的瞬间,流过灯丝电

流,理论上可达到额定电流的13~16倍,实际上由于点灯回路阻抗的制约,瞬间电流为额定电流的7~10倍。

寿命 通常指新白炽灯开始使用到断丝为止的时数,或指灯保持在规定的灯通量数值上的燃点时间。图3示出了白炽灯的电源电压变化对灯寿命的影响,通常功率为30 W以上的灯,燃点750 h时,光通量维持率可在85%以上,在数百毫秒至数秒的开灯与关灯周期内的瞬时电流,可使灯的寿命缩短2%~8%。

发展概况 100多年来,白炽灯的种类不断增多,性能也有明显改进与提高。虽然白炽灯光效不高,但它具有结构简单、光色好、价格低廉、使用方便等优点,仍然是电光源中产量最大、应用最广的灯种,并将进一步发展和研究涂白白炽灯、充氦气体白炽灯、带红外线反射膜的白炽灯。

(1) 涂白白炽灯是在灯内玻璃壳内涂以白色的无机粉末。这种灯发光柔和,不晃眼,60 W灯的光效为14.2 lm/W,100 W灯的光效为16 lm/W,寿命为1000 h。如果将充填灯内的氦氩混合气体中的充填比提高到90%~90.5%,灯的光效还可提高5%。预计到2000年时,涂白白炽灯占普通白炽灯的比例将由现在的5%提高到10%以上。

(2) 开发充填热导率低的氪(Kr)气体的白炽灯。氪气原子量比氩气大。普通白炽灯的填充气体改为氪气,可减小灯丝的热损失和气化速率,灯的体积变小,光效可提高10%,寿命可达到2000 h。玻壳直径为35~45 mm,功率为60~100 W的充氪气的小型PS型灯已开始投放市场。

(3) 进一步研究带红外线反射膜的白炽灯。白炽灯发出的红外线辐射占总功率的70%。为提高灯的光效,在灯的玻壳内表面镀一层透光的红外线反射膜,将灯丝发出的红外线再反射回灯丝,提高灯丝温度,进而提高灯的光效,节约电能。国际上开发的65 W带红外线反射膜白炽灯,可节约电能35%。

(肖辉乾)

bangong zidonghua

办公自动化 (official business automation)

利用现代通信技术、办公自动化设备和电子计算机技术来实现办公事务处理、信息管理和决策支持的一种自动化系统。

1873年美国雷明顿父子公司研制成功打字机,使用机械减轻了办公室工作人员的劳动强度。随着世界上第一台用磁带存储数据的打字机的使用,使办公业务中出现了文书处理概念。之后,随着各种文字处理机、复印机(见静电复印机)、传真机等自动化设备的出现,实现了多种办公单项业务的自动化。

进入20世纪70年代,微型计算机的出现使各种面向办公业务的软件如文字处理软件、文件管理软件、行政管理软件等迅速发展。办公软件的出现极大地提高了工作人员的办公效率。

80年代,人们将分散在各办公室的计算机系统联成局部网络,同时采用了电子报表、电子文档、电子邮件等高新技术。

文字处理系统是办公自动化中最重要的设备。微型计算机及相应的文字处理软件可实现文字的录入、编辑、排版、激光照排等一系列处理。现代文字处理系统主要有复印机、带微处理器的打字机、桌面轻印刷系统等。

文档管理系统是管理办公业务的一个重要方向。高密度存储技术如缩微胶卷、磁盘数据库、光盘存储器等与微机技术相结合构成了现代文档管理体系,可实现文档的分类、检索、保密、存档、制表统计等自动化管理过程。

行政管理辅助系统由计算机系统及各种相应管理软件构成,如各种图文、报表的自动生成,日程安排,工作计划编制,以及在存储、运用大量数据基础上提供分析、比较各类决策方案,供领导人参考和作为决



策支持。

电子邮件是办公自动化的最高形式。电子邮件是用电子技术传递声音、图像、数字、文字或其他混合型信息的技术。电子邮件包括从电话、传真机到复杂的计算机网络，其中最重要的是计算机局部网络（LAN）。LAN 可将分散在各处办公的人员有效地联结起来，利用计算机互相传递信息，并可方便地使用网内的各种文字、数字信息，实现互相通信和资源共享。

当前各种现代电子办公设备正愈来愈多地用于办公自动化领域，采用计算机局部网络传递、处理各种声音、图像、文字、数字信息正成为办公自动化发展的大趋势。

（任杰）

baoran dianyuan

保安电源（power supply for ensuring safety and reliability）供给用户保安负荷的电源。当常用电源或主要电源故障断电时，保安电源用来保证用户保安负荷连续供电，以防发生人身伤亡和设备事故，造成重大经济损失和政治影响。保安电源必须是与其他电源无联系而能独立存在的电源；或与其他电源有较弱的联系，当其中一个电源故障断电时，不会导致另一个电源同时损坏的电源。保安电源与其他电源之间必须设置可靠的机械式或电气式连锁装置。

保安电源一般可由电力系统提供或采用自备发电机组、静态交流不停电电源装置、工频晶闸管逆变电源装置等。

电力系统提供可采取：①由电力系统的两个独立变电所向用户供电，其中一个作为保安电源。②由电力系统的两条独立的线路供电，其中一条作为保安电源。这两条线路是由两个电源供电，且有多台变压器并列运行的变电所中两段母线提供。③将保安负荷既连接到当地低压配电系统（见低压配电）上，又连接到上一级电压的电网上。

自备发电机组当设置自备发电机组比从电力系统取得保安电源更为经济合理时，可采用自备发电机组。柴（汽）油发电机组就是常用的一种，分单相、三相柴（汽）油发电机组，单机容量从几千瓦到数百千瓦。

静态交流不停电电源装置简称 UPS，是一种高质量、高稳定性和高可靠性的静态型独立电源。UPS 与电力系统之间有直流储能环节隔离，排除了电力系统出现瞬时变化对 UPS 的干扰，保证了向保安负荷安全、可靠、连续、正常地供电。与柴（汽）油发电机组相比，UPS 体积小、效率高、占地少、安装方便、无旋转噪声、维护费用少。UPS 由晶闸管整流器、逆变器、交流静态开关和蓄电池组等组成（图 1），主要用

于计算机、通信设备等对供电连续性和供电质量有严格要求的场合。正常时，电力系统交流电经晶闸管整流

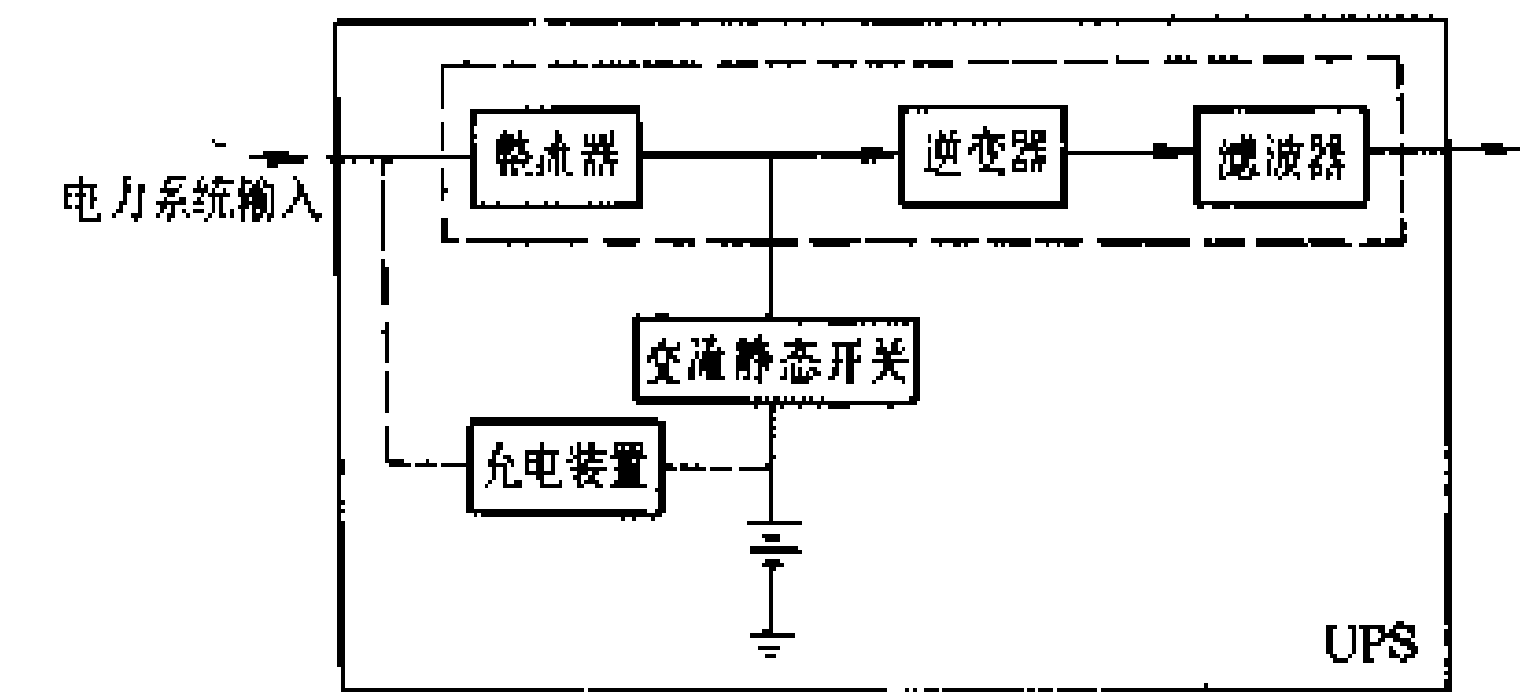


图 1 不停电电源装置（UPS）原理框图

器变为直流电，在对蓄电池组进行浮充电的同时，经逆变器输出优质的交流电对保安负荷供电。当电力系统故障突然停电时，它能自动切换到蓄电池组，利用蓄电池组的储能环节放电，经逆变器对保安负荷供电。按接线方式的不同，UPS 分为三大类：①单台 UPS。它是基本的不停电电源供电系统。②并联 UPS。具有一台或多台逆变器的 UPS 和其他 UPS 工作单元并联运行。③多重化 UPS。由若干个分担负荷电流的 UPS 单元构成，分备用多重化 UPS 供电系统和并联多重化 UPS 系统。当运行中的 UPS 单元发生故障时，立即经交流静态开关切换到备用 UPS 单元向负荷供电，同时切断发生故障的 UPS 单元。多重化 UPS 按有无旁路分为有旁路和无旁路两种；按蓄电池接线方式还可分为蓄电池分离式和蓄电池浮充式（图 2）。

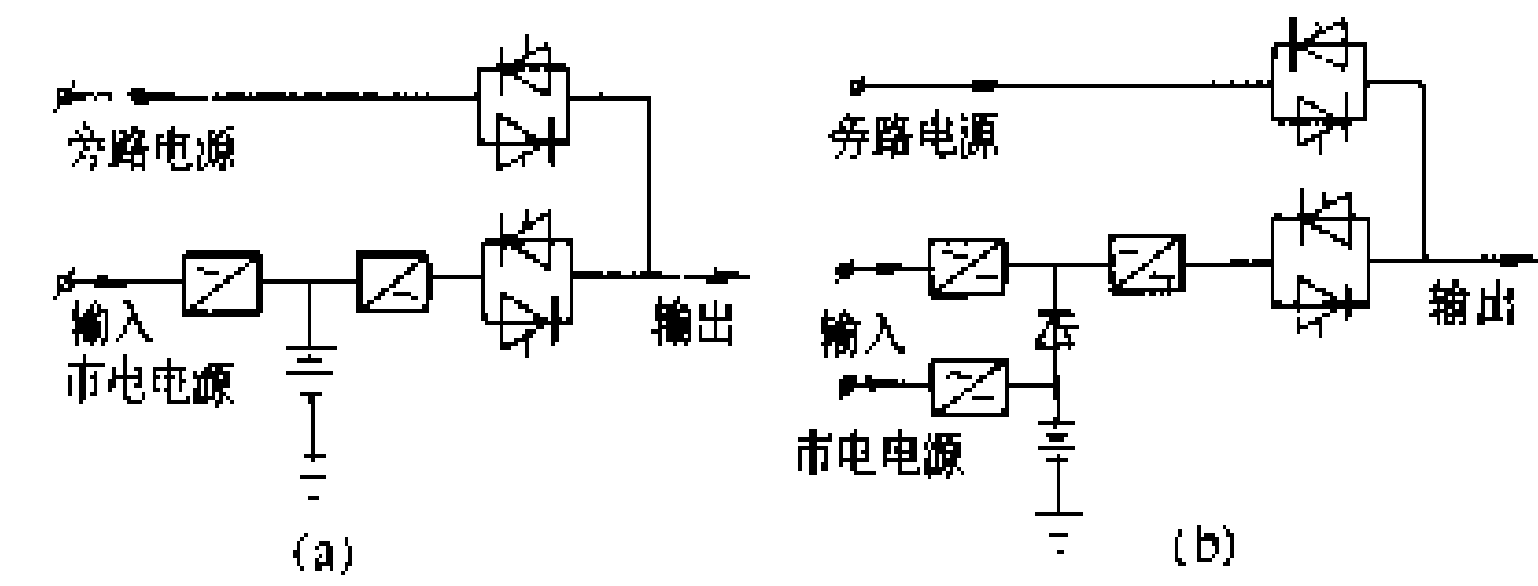


图 2 单台 UPS

(a) 蓄电池浮充式；(b) 蓄电池分离式

工频晶闸管逆变电源装置在有直流电源的场所，当城市电网停电时，经自动开关切换至该装置将直流电变换为交流电，供电给保安负荷。它具有体积小、重量轻、切换时间短、功率增益大的特点，用于自动化装置、通信、机场、控制室照明等对供电可靠性要求高的场所。

（赵学林）

baoran fuhe

保安负荷（protective load）用于保障用电场所人身与财产安全所需的最小电功率。电能是一种广泛使用的能源，不同的行业、不同的使用目的、不同的使用场所，对供电可靠性要求的程度各有不同。有的对供电的可靠性要求极高，不允许出现供电中断的



现象,如大型计算机中心;有的即使供电有更长时间的中断,也不致于发生不安全事件。根据中断供电(见重要负荷)引起后果严重程度的不同,一般认为,有下列后果之一的场所,应有保安负荷:

(1) 中断供电将引发人身伤亡的;

(2) 中断供电将使有毒、有害气体溢出,造成环境大面积污染的;

(3) 生产空间存有易燃、易爆物质,中断供电将引起爆炸或火灾的;

(4) 中断供电将引起重大生产设备损坏的;

(5) 中断供电将引起社会治安混乱或在政治上产生严重影响的。

保安负荷包括有毒、有害、易燃、易爆气体抽放或处理用电,事故照明,安全及自动装置用电,通信和报警用电以及保证人身和财产安全的其他有关用电。

供给保安负荷的电源,统称为保安电源。保安电源的取得,保安电源的数量以及容量的大小,主要取决于保安负荷对供电可靠性要求的程度以及保安负荷的大小。保安电源可以由供电部门提供,也可由用户自备电源解决。

遇有当电力系统瓦解时仍需保证供电的保安负荷或由用户自备保安电源供电给保安负荷较之由电力系统供电更为经济合理时,用户应自备保安电源。用户自备保安电源包括用户自备发电厂(含汽油、柴油发电机组)、蓄电池组,向较小的保安负荷供电也可选用不停电电源(UPS)。对供电可靠性要求很高的保安负荷,可设多重保安电源,如大型计算机中心,除可由电力系统取得第二电源外,还需增设第三、第四电源。

保安电源必须是能相互独立存在的电源,即独立电源。

(王秉宗)

baohu jiedi

保护接地 (protective earthing) 为保证人体触及意外带电的电气设备时的人身安全,而将电气设备金属外壳进行的接地,又称安全接地。当电气设备的绝缘发生损坏时,其金属外壳或架构可能带电,为了防止人体碰及时引起触电,必须将电气设备的金属外壳或架构接地。接地指将电气设备的某些部分用导线(接地线)与埋设在地中或水中的金属导体(接地体)相连接。

电力网和电气设备的下列金属部分,除另有规定者外,均应接地或接零(与零线相连接):①电机、变压器、电器和照明器具等的金属底座及外壳;②电气设备的金属传动装置;③互感器的二次绕组;④配电盘与控制台的框架;⑤屋内外配电装置的金属架构和钢筋

混凝土架构以及靠近带电部分的金属围栏和金属门;

⑥交、直流电力电缆接线盒、终端盒的外壳和电缆的金属外皮、穿线的钢管等;⑦装有避雷线的电力线路金属杆塔;⑧在非沥青地面的居民区内,无避雷线的小接地短路电流系统的架空电力线路的金属杆塔和钢筋混凝土杆塔;⑨装在配电线路电杆上的开关设备、电容器等电气设备;⑩铠装控制电缆的外皮、非铠装或非金属护套电缆的1~2根屏蔽芯线。

电力设备的下列金属部分,除另有规定者外,不需接地或接零:①在木质、沥青等不良导体地面的干燥房间内,交流额定电压380V及以下、直流额定电压440V及以下的电力设备外壳。但当维护人员可能同时触及电力设备外壳和其他接地物体时除外,有爆炸危险的场所也除外。②在干燥场所,交流额定电压127V及以下,直流额定电压110V及以下的电力设备外壳,但有爆炸危险的场所除外。③安装在配电盘、控制台和配电装置间隔墙壁上的电气测量仪表、继电器和其他低压电器的外壳,以及当发生绝缘损坏时,在支持物上不会引起危险电压的绝缘子金属底座等。④安装在已接地的金属架构上的设备(应保证电气接触良好),如套管等,但有爆炸危险的场所除外。⑤额定电压220V及以下的蓄电池室内金属支架。⑥与已接地的机床底座之间有可靠电气连接的电动机和电器的外壳,但有爆炸危险的场所除外。⑦由发电厂、变电所、工业企业区域内引出的铁路轨道,但运送易燃、易爆物者除外。

为了保证接地的可靠性,电气设备的同一部分有时需要有一个以上的接地点,称为重复接地。例如低压架空线路的零线(接地的中性线)在其两端和分支处以及每隔1km处需进行重复接地。

在中性点直接接地的低压电网中,电力设备的外壳宜采用接零保护,即把外壳与零线相连接。在用电设备较少、分散,采用接零保护确有困难,而且土壤电阻率较低,很容易做接地时,可采用接地保护。但此时如用电设备漏电,设备外壳和与其有电气连接的金属部分、变压器外壳及其接地线都可能带电,会危及人身安全,应采取必要的安全措施:如装设能自动断开接地故障的继电保护装置、使用绝缘垫、安装保护围栏或采取在设备周围敷设闭合的均压带等安全措施。脱粒机、切草机等因人常常与之接触,所以最好采用接零保护。在城防、人防等潮湿场所,条件特别恶劣场所的低压电网中,电力设备的外壳应采用接零保护。

携带式和移动式用电设备的接地应当使用专用的芯线接零或接地。此芯线严禁同时用来通过工作电流,严禁利用其他用电设备的零线接地。接地芯线应采用多股软铜线,其截面不应小于 1.5 mm^2 。携带式和移动式用电设备的插座上应备有专用的接地触头。该触头

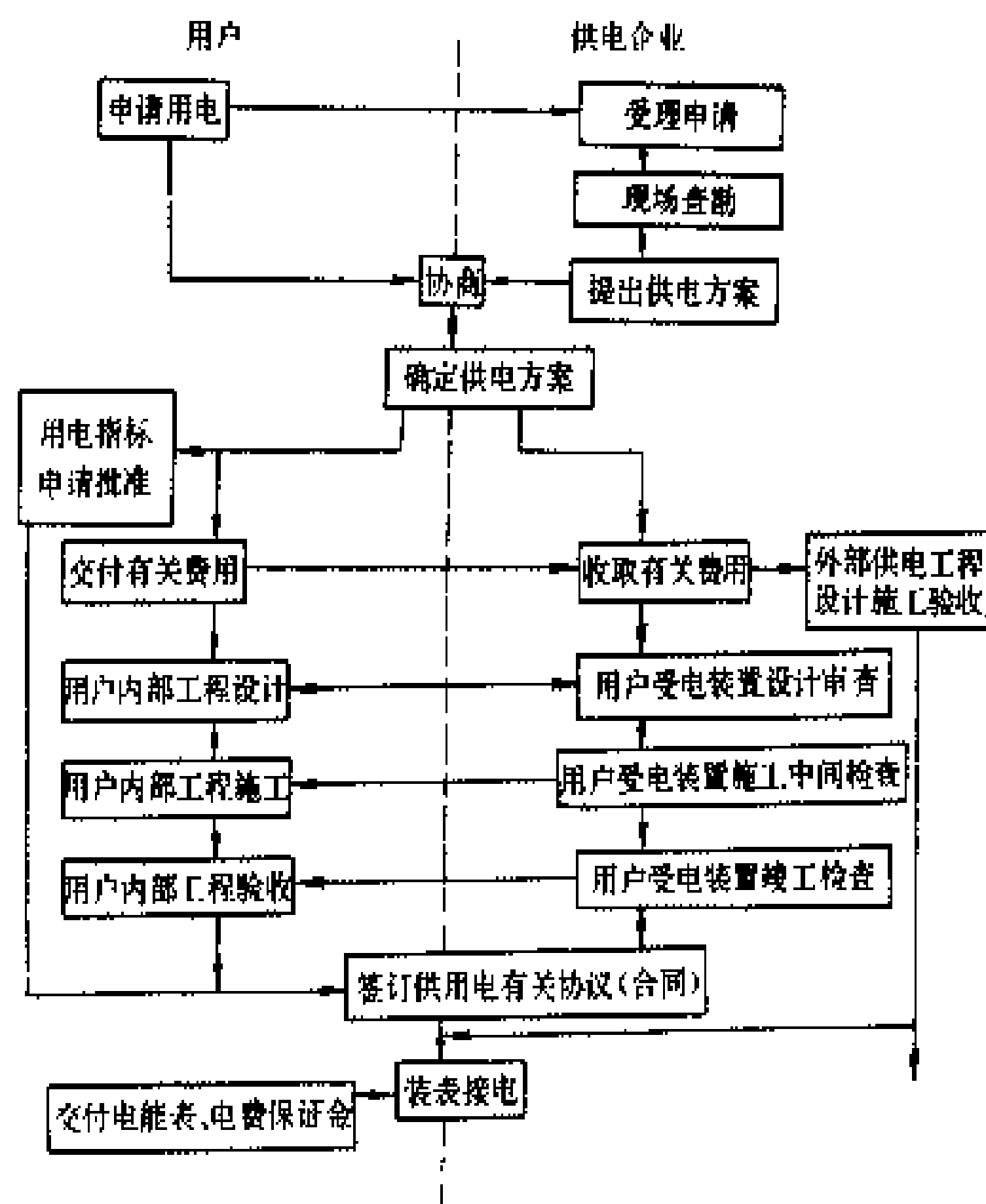
应同时与接地线和零线相连,而且所用插头的结构应避免将导电触头误作接地触头使用。插座与插头的接地触头应在导电的触头接触之前连通,并应在导电的触头脱离之后才断开。金属外壳的插座,其接地触头和金属外壳应有可靠的电气连接。

(解广润)

bao/huang

报装 (cooperation in using electricity)

用户提出并向供电企业办理建立供用电关系或增加协



报装 (业务扩充) 流程图

议(合同)用电容量的行为。具有公用事业性质的供电企业负有满足国民经济各部门和人民生活用电不断增长的责任,增加供电也是电力部门扩大再生产的前提。因而,电力企业在其营业管理部门内建立业务扩充的工作体系,办理接待用户报装事宜。

报装包括从用户建设项目立项并确定场址后向供电企业提交用电申请书开始,到供电企业向其正式供电为止的全过程。其流程如图。大、中型用电建设工程项目的供电方式,与用户场址选择有很大关系。因此,用户在确定场址前,要与供电企业共同进行可行性研究以达成意向性协议,然后,再确定场址,申请报装。用电指标申请批准是中国因实行计划用电而特有的程序。收取的有关费用主要是用户场外供电工程应承担的费用,对实行由用户承担标准贴费额的为交付供电贴费;对实行其他分担办法的为工程预付款,待工程竣工决算后再进行投资分割结算;按规定全部供电工程由供电企业或用户投资的不再交付此项费用。

(王世煜 顾嘉豪)

Beijing ditie

北京地铁 (Beijing under ground railway)

中国第一条地下铁道,现已建成两期工程。一期工程(简称一线地铁),自起点苹果园经前三门到终点北京站全程 23.6 km,有 17 个车站和 1 个古城车辆段。一线地铁 1965 年开始施工,1969 年 9 月竣工,经过一段时间试运行,于 1981 年 9 月正式投入运营。二期工程(简称二线地铁)从北京站起经建国门、东直门、西直门至复兴门与一线地铁接轨,形成方环状。其线路长为 16.4 km,设有 12 个车站和 1 个太平湖地面车辆段。自 1971 年 3 月开工至 1984 年 9 月完工,同年 10 月 1 日正式通车运营。但在运行初期,一、二线并未接通,1987 年 12 月复兴门(下层)站东折返线建成后才开始联运。现在运营线路总长为 40 km,车站有 29 座,复兴门站为上下双层站。

北京地铁隧道采用钢筋混凝土框架结构,一期工程采用浅埋明挖施工法,二期工程采用暗挖(深埋)施工法。线路站间距离最长为 2.22 km,最短的为 0.79 km。站台有岛式和侧式两种形式。站台股道有效长度为 118 m,可停靠 4 节车辆。北京地铁采用 BJ—2 型及 BJ—3 型动车,车长为 19 m,宽 2.65 m,高 2.26 m,每车定员为 186 人,由 4 台 76 kW 的直流电动机驱动,车辆的最大速度为 80 km/h。电力牵引供电系统为直流 750 V、接触轨(第三轨)上部受流方式。

北京地铁行车组织与世界各国的一样,采用高度集中,统一指挥的原则,严格按照运行图行车。根据设计,一、二线地铁列车最大通过能力近期每小时为 24 对,远期每小时为 40 对。为了进一步提高设备能力和管理技术水平,加强运输能力,将对一线地铁的车辆、信号、通信、供电及通风系统,利用世界先进技术和设备进行全面现代化、自动化技术改造。北京地铁三期工程由复兴门至八王坟段,全长 13.69 km,已经开工修建,采用浅埋暗挖施工法,拟于 1995 年内建成。在北京市城建规划中还将继续大力发展地下铁道,并将与

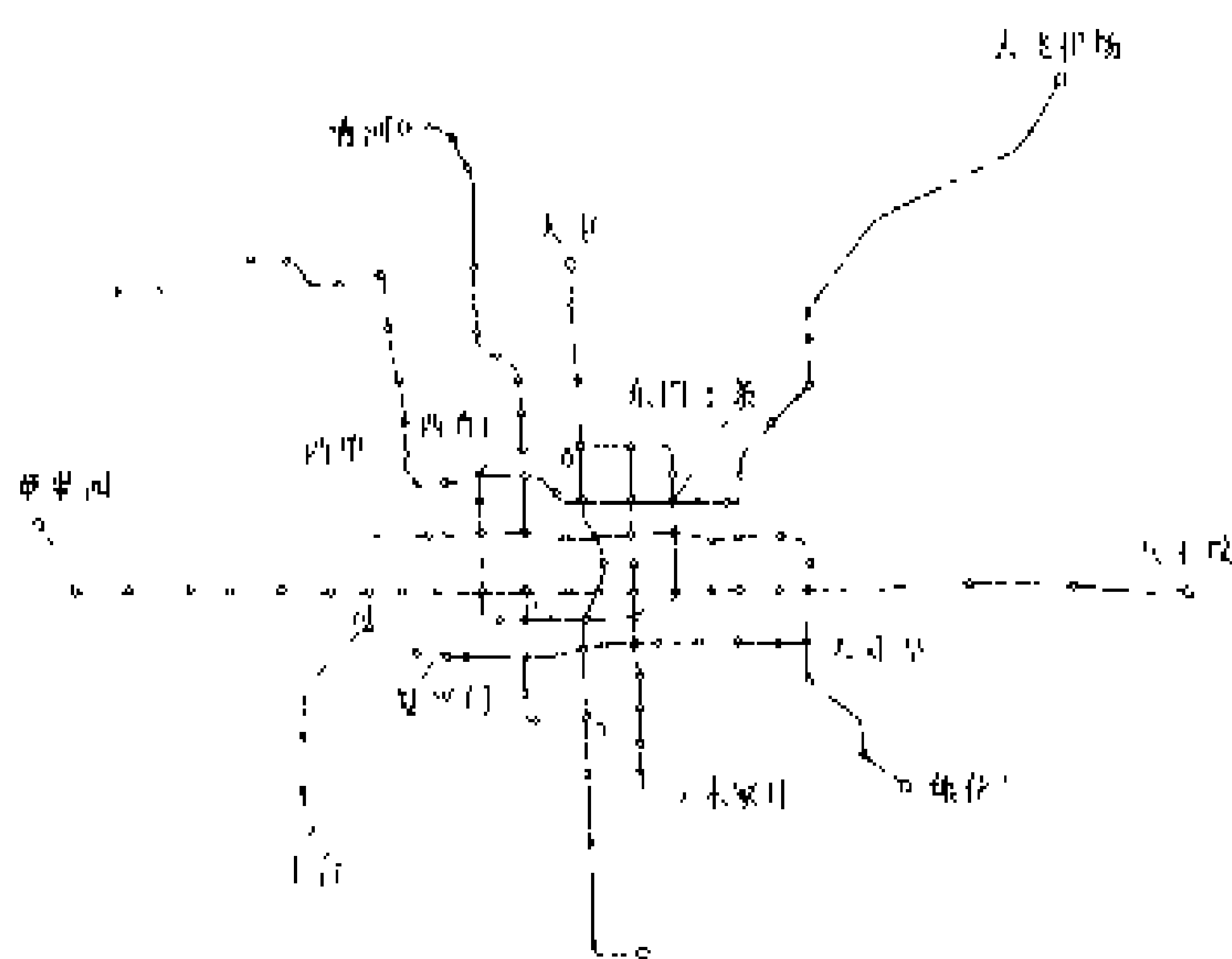


图 1 北京市区地下铁道规划方案

公共交通上下结合,形成四通八达的交通路网。北京市区地下铁道规划方案见图 1。北京地下铁道线路示意图见图 2。

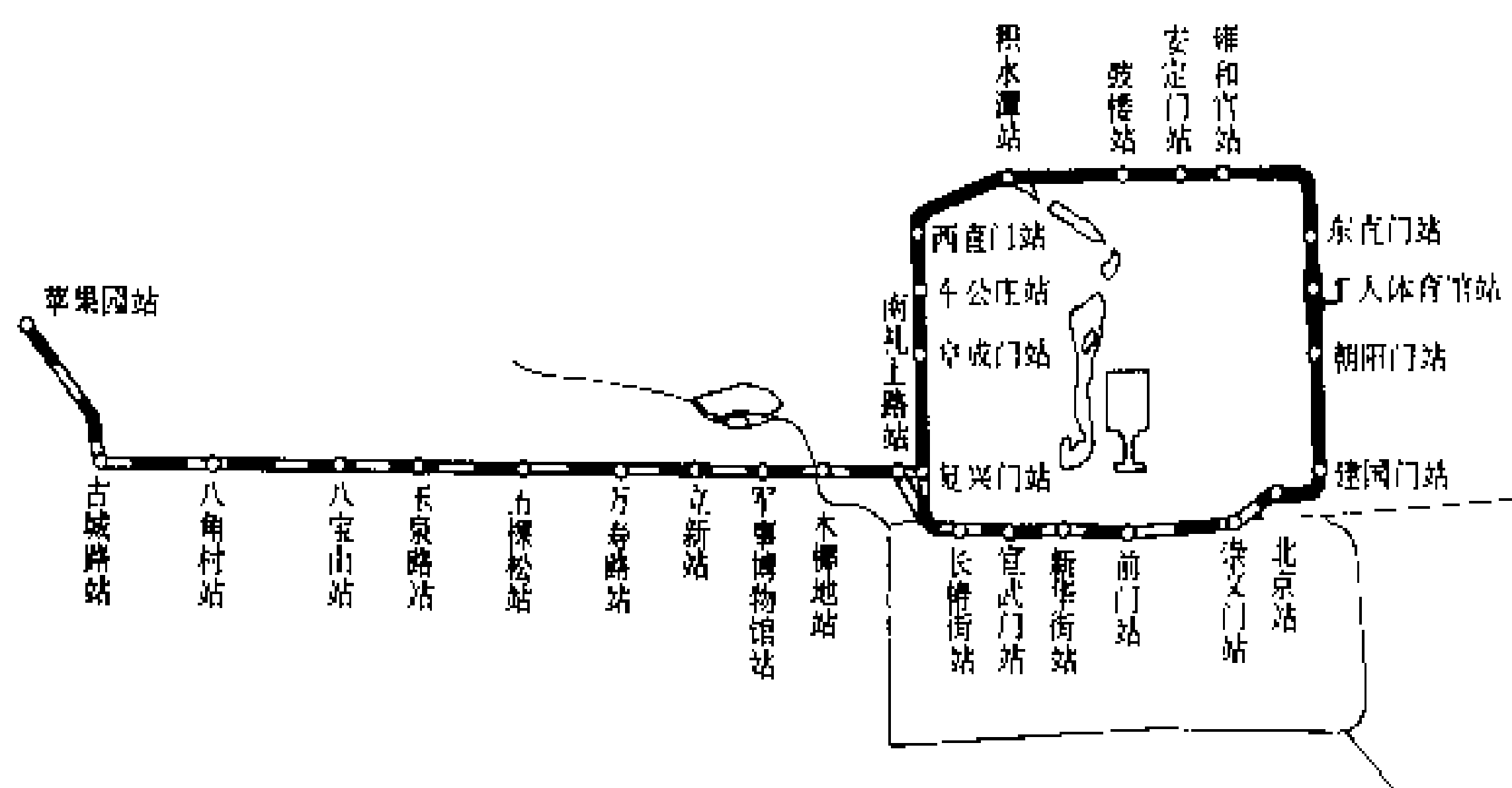


图 2 北京地下铁道线路示意图
(高福崑)

Beijing youse yejin sheji yanjiu zongyuan

北京有色冶金设计研究总院 (Beijing Central Engineering and Research Institute for Non - Ferrous Metallurgical Industries, ENFI) 位于北京,是以有色金属工业工程设计和科学研究为主的综合性设计科学研究部门。

北京有色冶金设计研究总院创建于 1953 年初。在 40 多年中,做过 700 多项大、中、小型重金属、贵金属、稀有金属、稀土金属和半导体材料的联合企业及采矿场、选矿场、冶炼厂、精炼厂及冶炼烟气制酸厂的工程设计;做过化工、建材、轻工、电力、煤炭等 20 多个行业以及民用建筑、旅游架空索道、文化艺术设施、热电站与各种游艺机等数百项设计;进行了大量的科学研究工作,取得了 500 多项成果。还为亚洲、欧洲、非洲一些国家做了 20 多项工程设计。与许多国家和地区有着业务联系。

北京有色冶金设计研究总院有职工 2100 多人,其中技术人员 1700 多人。主要从事工程咨询、规划、可行性研究、技术经济评价、工程设计;从事科学试验、新技术开发、老企业改造;从事工程建设总承包,包括设计、设备采购、施工安装、人员培训和试车投运等工作。

(杨启元)

beiyong dianyuan

备用电源 (standby electric supply) 在正常供电电源故障而失去供电功能时,承担全部或部分供电任务的电源,又称第二电源。根据承担供电任务的不同,备用电源分为生产备用电源与保安备用电源。

在正常供电电源失去供电功能时,为避免断电造

成重大经济损失,维持生产继续进行,需设置生产备用电源。生产备用电源的容量应与正常供电电源的容量相等。生产备用电源一般与正常供电电源并列运行,也

可在备用状态下运行,一旦正常电源故障,依靠自动装置在切除故障电源的同时自动投入备用电源。

保安备用电源是在正常供电电源失去供电功能时,为保证对保安负荷不间断地供电而设置的。保安备用电源的容量一般比正常供电电源的容量小,只要能满足保安负荷的需求即可。保安备用电源必须是独立电源,并与正常供电电源

同时运行。

在电力系统瓦解时,仍需保证供电的以及自备保安电源比从电力系统取得第二电源经济合理的用户宜自行设置备用电源。

(徐纪法)

beiyong zhao ming

备用照明 (standby lighting) 在正常照明发生故障时,为使工作或活动能继续进行而设置的应急照明。

设置备用照明可防止因正常照明熄灭后所引发的事故,如因失去照明不能进行必要的操作处理而可能引起的火灾、爆炸、中毒等;导致生产流程混乱,造成加工处理的贵重部件的损坏;不能进行视看和操作,使重要的活动中止,从而可能造成较大的政治或经济损失;妨碍消防人员进行必要的救援工作;造成现金、贵重物品被窃等。因此下列场所应设置这类照明。

(1) 制氢,油漆生产,冶金、化工、石油、塑料、赛璐珞及其制品生产,炸药生产,溶剂生产,航空航天器生产以及贵重金属熔化,与浇铸、热处理、精密加工车间等的相关工段或岗位。

(2) 通信和控制中心,国家和国际会议中心,机要室,重要厅堂和宴会厅,高级宾馆饭店内的贵宾室、餐厅、厨房、电梯、营业大厅,候机楼、车站、航运等交通枢纽,动力站以及银行营业厅,商业自选商场售货厅等场所。

(3) 消防控制室、消防泵房、监控中心、备用发电机间、低压配电室、自动化管理系统主控室以及广播站、值班室等场所。

(4) 无窗厂房、地铁车站、地下医院、商场、地下旅馆、餐厅和游乐场所等。

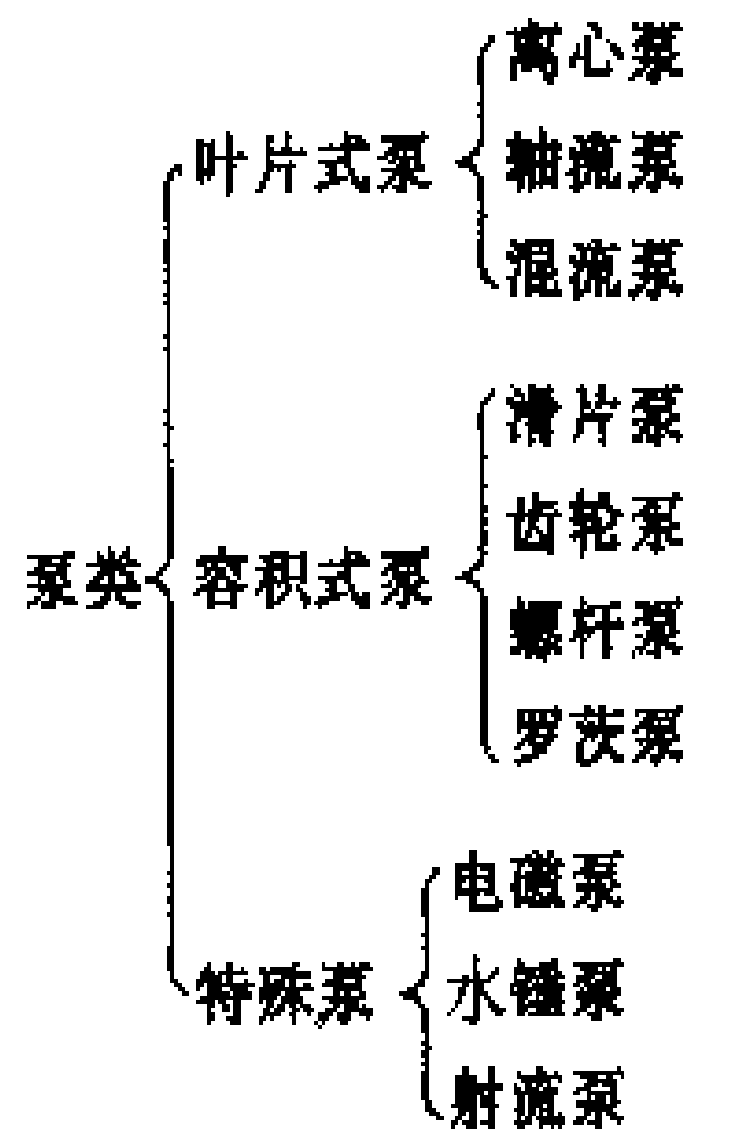


一般场所备用照明的照度应不低于正常照明照度的10%。为满足特殊要求也可能需要更高的照度,应根据具体生产工作条件来确定。如消防控制室、消防泵房、应急发电机室、配电室等与消防工作直接有关的场所的备用照明的照度不宜低于正常照明照度的30%~50%。重要公共建筑,如国家和国际会议中心,重要比赛场馆和交通枢纽等场所的备用照明的照度不宜低于正常照明照度的标准值的下限。从正常照明断电到备用照明投入的间断时间一般不超过15s,有些重要场所,如商业大厅,为防止被窃,采用1.5s是合适的。备用照明供电不宜采用蓄电池,应采用发电机作备用电源。在备用发电机起动之前,如果要求转换时间较快,可用带蓄电池的应急灯作为过渡照明,一旦正常照明故障,进渡照明用应急灯立刻投入,而后起动发电机完成大部分应急灯的投入工作。

备用照明用应急灯的种类有持续式和非持续式两种。持续式应急灯,即平时光源由主电源点燃,应急时切换到备用电源上;非持续式应急灯,即应急灯平时不点燃,只在应急时才投入工作。非持续式应急灯在平时应注意维护,防止长时间不燃亮,在事故时不能点燃的现象。备用照明用持续式应急灯,一般采用直管形荧光灯和紧凑型荧光灯;对显色性要求高的场所,可采用显色指数较高的光源,如三基色荧光灯等;对高大厂房,正常电源故障时,不需转换电源,且电压稳定者,可用高强度气体放电灯。非持续式应急灯,可用荧光灯、白炽灯或卤钨灯,但不得使用高强度气体放电灯。

(赵振民)

benglei jiedian jishu
泵类节电技术 (pump's technology saving electricity) 提高泵类运行效率,降低电能消耗的措施与方法。泵是一种输送流体的水力机械,用途广,种类多,按工作原理的不同可分为



社会上泵的拥有量很大,是一种主要的用电设备。泵的节电措施和方法有:改造低效泵,降低管路阻力,选用合理的调节方式,合理选型等。

改造低效泵 泵运行效率的高低,是节电优劣的衡量标志。造成泵运行效率低的原因有:①设计制造工艺水平落后,使泵本身的额定效率低;②泵的设计选型不当或匹配不合理,使泵运行工作点偏离高效区;③长期使用,维护不当,磨损严重。在改造前,须对泵进行电能平衡测试,以便分析泵运行效率低的原因,确定改造的对策。改造低效泵的措施有:

(1)更新或改造低效泵。由于制造工艺、结构等原因使泵的效率低下的,可采用重新选型的方法,用新的高效泵把低效泵替换下来,或者用高效型的叶轮代替低效泵的叶轮。用换叶轮的办改造低效泵,泵壳和电机不改动,工作量小,较为经济,节电效果亦显著。如某电厂,将中压给水泵(DG150—90型)的叶轮改为扭曲型,并采用精密浇铸工艺,提高叶轮流道的光洁程度,使改造后的泵的流量从原来的140t/h,提高到216t/h,效率也从59%提高到79%,每年可节电100万kW·h。

(2)多级泵采用减级运行。由于设计选型不当,造成泵的额定扬程过大的,可以拆去一级或二级叶轮,从而改变了泵的特性曲线,适当降低了泵的扬程、流量并减少了电能的消耗。

(3)单级泵扬程过高的,可采用车削叶轮直径的办法。适度切削叶轮可降低泵的特性曲线,从而降低电能消耗。切削量与泵的比转数有关,比转数越高则切削量越小。轴流泵不宜采用切削叶轮的办法改造。

(4)打磨叶轮流道,提高流道光洁程度,减少水头损失。

(5)提高检修、装配质量,定期进行运行维护,保持密封良好,减少泄漏损失。

降低管路阻力 泵在工作时,流体经过管路与闸门时会造成能量的损失。因此降低管路的阻力也是泵运行节电的一个重要方面。降低管路阻力的方法有:

(1)离心式水泵去掉底阀,用真空泵或射流抽真空的办法注水。

(2)用微阻缓闭止回阀替代旧式止逆阀,在降低管路阻力的同时还可消除水锤现象。

(3)减少不必要的弯道、阀门,定期清洗管路,除掉水垢和杂物。

选用合理的调节方式 由于泵类输送的流体量是根据需要而变动的。因此,需要对泵的流量进行人工调节。调节方法:①通过调节管路上阀门的开度,来改变泵的工作点;②通过改变泵的工作台数来进行流量粗调节,再采用调速方法来进行流量的细调节。第一种调节方法是用增加管路的阻力来实现的,因此是一种不可取的方法。第二种方法是用改变泵的特性曲线来实现的,是一种节能方法。泵类的调节方法很多,具体选



择哪一种可视实际情况而定（见电动机节电技术）。

合理选型 正确合理地选用泵，是保证安全经济运行的前提，也是实现节电的基础。泵的选型包括确定泵的型号、台数、规格、转速以及配套的电动机及相应的调节方式。

选型的原则：①所选用的泵能满足最大扬程和最大流量的需要；②选用结构合理的高效型泵，在条件允许的情况下，尽量选用高转速的泵；③选择节能型调节方式，使泵的运行工况点能保持在高效区内；④有效率较高的管网系统与其相配合。选型时，需掌握输送的流体的物理特性，输送的最大流量、最小流量和扬程，管网的布置及几何尺寸，以及流量、扬程控制点的参数。

选型的步骤是：①计算设计的流量与扬程；②选定泵的转速，计算出比转数；③根据比转数，决定所选泵的类型、台数和级数；④根据所选的类型，在该型泵的综合性能图上选取最合适的型号，确定转速、功率和工作范围；⑤从泵的样本上查出该台泵的性能曲线，有多台泵同时工作的，要绘出不同运行方式下泵的性能曲线；⑥根据管路性能曲线和不同运行方式下的泵的性能曲线，校核泵的工况点，如果泵的工况点不在高效区域内，则应重复上述步骤再选，直至运行工况点落在高效区域内为止。

（蒋凤铎 徐纪法）

bianqeng yongdian

变更用电 (change for use electricity)

改变供用双方事先约定的用电事宜的行为。用户的用电需求有时会随时间的推移而发生变化，因此改变用电事宜是不可避免的事情，供电企业应予以受理。变更用电须由用户提出申请，按规定办理手续，修改供用电协议或供用电合同的约定。变更用电包括减容、暂停、迁址、过户、销户、分户、移表、并户、改变用电电价类别、改变供电方式等内容。

减容 减少注册或协议的用电容量。减容一般需在 5 天前向供电企业提出申请。减容须整台或整组变压器停止运行或换用小容量的变压器。用户申请减容的目的是要减少基本电费的支出。减容时间的长短，一般也有限制。减少用电容量的时间超过 6 个月的，要办理减容手续。在减容期间内，供电企业要保留减容者对原减容容量的占有权。

暂停 因设备检修、生产临时性调整或季节性生产的用户，为减少上述时期内的基本电费支出，可提出暂停用电的申请。暂停用电也须整台或整组变压器停止运行。暂停累计时间一年之中不超过 6 个月者，才允许办理暂停用电手续。

迁址 迁移受电装置的地址。迁址有可能会引起供电点的改变，使供电能力不相适应。因此，迁址须提出申请，办理手续。私自迁址是不许可的。

过户 又称更名，即用户依法变更名称或居民房屋变更户主时，出现的变更用电事宜。在原用户的供用电条件不变的前提下，可办理这项手续。过户时原用户与供电企业的债务应结清。私自过户一经发现，除补办手续外，新用户还应承担原用户的债务。

销户 合同到期终止，不再继续用电或连续半年以上不用电时，供电企业将终止供电，解除合同，但用电期间债务并不免除。销户后的用户需再用电时，须按新装手续办理。

分户 又称并户。用户依法分立（或合并）或居民合用户表需分户供电时，应办理这项变更用电手续。

移表 指移动电能表的安装位置。因电能表安装的位置有碍施工或改建工程时，应办理这项变更用电事宜。目的是保护电能计量装置准确、可靠的计量。

改变用电电价类别 用电计收电费的电价类别发生变化。如原核定为照明用电的，后改为动力用电，或者相反；原核定为农业排灌用电的，后改为普通工业用电，或者相反等。此时应向供电企业提出变更用电申请，以避免发生违章用电现象或增加（或减少）电费的支出。

改变供电方式 用户需在原址改变供电电压、增加供电回路或增加保安备用电源（包括自备电源）等时，应事前向供电企业提出申请，办理相应的手续后，才可用电。

（王世煜 顾嘉乘）

bianliu zhuangzhi jiedian jishu

变流装置节电技术 (transducer set technology saving electricity)

降低变流装置电能消耗的措施与方法。变流装置泛指整流器、逆变器、变频器，是一种使用范围很广的电气设备。整流器可用于充电、电镀、电化学加工、弧焊电源、电力牵引、电解、电力拖动调压、调速；逆变器用于直流变交流的场合，如直流输电、交流-直流-交流调速装置；变频器可用于频率变换，如中频电源。

变流装置的换流元件经历了机械、电子管、半导体元件的发展过程；半导体元件又经历了从硅元件到晶闸管元件，小功率元件到大功率元件的发展过程。随着换流元件的发展，已使变流装置电能损耗大为减少。晶闸管元件的应用和有载调压装置的采用，使得变流装置有可能取消感应式调压器，而将调压器与变压器合二为一，这样又大量减少了变流装置的电能消耗。因此，原来使用的电动直流发电机组、汞弧整流器、带感

应式调压器的变流器，已全部被硅整流装置或晶闸管整流装置所取代。

变流装置的损耗 硅变流装置和晶闸管变流装置的损耗有：

(1) 硅整流元件损耗，主要由半导体 PN 结正、反向电阻，焊接电阻，导体电阻引起的。

(2) 整流变压器（包括平衡电抗器）损耗，即变压器的铜损和铁损。

(3) 电抗器（饱和电抗器、滤波电抗器）的损耗，即电抗器的铜损、铁损。

(4) 均压电阻损耗。

(5) 交流和直流侧 RC 过电压保护装置损耗，即电阻损耗与电容介质损耗。

(6) 换相过压保护装置损耗，即电阻与电容上的损耗。

(7) 连接母线电阻损耗。

(8) 熔断器损耗。

(9) 辅助设备上的损耗，包括人工负载电阻、冷却系统、触发电路、双变流器连接的环流等引起的损耗。

变流装置节电措施 硅变流装置是一种效率较高的电气设备，但仍有节电潜力可挖，减少其损耗的主要措施有：

(1) 选型时尽可能选用自冷式硅变流装置，这样可以减少冷却系统的耗电量。

(2) 风冷式硅整流装置，风机的投切应根据负荷及室温进行自动控制。风机投切的温度可以通过试验确定。

(3) 采用氧化锌避雷器替代交流侧 RC 过电压保护装置，氧化锌避雷器漏电流很小。

(4) 对双反星形接线的整流器，其直流侧装有防止小负荷电压突升的稳压电阻，正常时稳压电阻中流经 1%~2% 额定整流电流，造成相当大的电能损耗。加装按负荷变化的自动投切装置，在正常时，使稳压电阻退出运行，小负荷时投入运行，可降低电能损耗。

(5) 对于牵引用的整流器，可以在整流站内装设逆变器，在牵引制动时，将制动的能量回收反馈输入电网，抵补部分电能消耗。

(6) 按损耗最小的原则使多台整流器并列运行，这样可减少整流器损耗，节约电能，使变流装置达到经济运行。

(蒋凤铎 徐纪法)

时，其同步转速与供电电源频率成正比，改变频率就能调节电动机的转速。交流变频调速是比较合理和理想的一种调速方式，具有高效率、高精度和可平滑调速的优点。能实现恒转矩或恒功率调速，以扩大调速范围。近年来，调速节能受到了重视，不少用电设备，特别是驱动风机和水泵的一些大、中型笼型感应电动机，只有采用交流变频调速技术，才能获得期望的效果。变频调速系统包括变频电源装置（变频器）、控制系统及电动机负载。其主要问题是变频器的构成、控制系统的控制方式及电动机的运行方式。

变频器 变频器可分为两大类，即交流-交流变频器（又称直接变频器或周波变流器）和交流-直流-交流变频器。前者直接将恒频的交流电通过电力变流器变为变频交流电源（即一次换能），后者须先变换为直流电后再变换为变频交流电源（即两次换能）。两类变频器的输出可以呈现高阻抗，也可以呈现低阻抗。前者称为电流型（又称电流源）变频器，后者称电压型（又称电压源）变频器。除此之外，为了改善交流-直流-交流变频器的输出波形、减少转矩脉动、简化主电路，出现了交流脉宽调制型变频器。因此，变频器可细分为交流-交流直接变频器（包括电压型和电流型）、交流-直流-交流电流型变频器、交流-直流-交流电压型变频器、交流脉宽调制型变频器等。

变频器中晶闸管的换流方式分自然换流与强迫换流两种。前者又分为电源电压换流和负载反电动势换流。电源电压换流是利用电源电压自动过零变负的性能，触发一晶闸管使另一需换流的晶闸管承受反向电压而自动关断，从而实现换流。负载反电动势换流一般用于同步电动机的逆变器，利用机电枢绕组中的感应电动势和同步电动机电流可以超前于电压的特点，使换流时刻超前于需发生换流关系的两相反电动势的交点，触发一晶闸管使另一需换流的晶闸管承受反向电压而自动关断。对于给带电容补偿的感应电动机供电的逆变器，也可利用负载的交变电压和能提供超前的无功电流的特点，按类似方法换流，这可归并为反电动势换流方式。反电动势换流方式和电源电压换流方式都是利用变频器的外部条件进行换流，不需专门的换流环节，故称为自然换流。强迫换流则是指利用专门的换流电路，使晶闸管在任何所需要的时刻关断。通常采用的方法是给晶闸管施加反向电压，其施加反向电压的时间大于晶闸管的关断时间，从而强迫其关断。产生反向电压的元件一般是电容器或电感器等储能元件，在换流时，原已充好电的电容器通过一定路径放电，给应关断的晶闸管施加反向电压而立即被关断。如果采用可关断晶闸管(GTO)及大功率晶体管(GTR)等具有自关断能力的开关元件，就不需要

bianpin tiaosu

变频调速 (variable frequency AC motor speed control) 改变交流电动机定子供电电源频率实现调速的技术。交流电动机的绕组极对数一定

另外专门的强迫换流电路,可使主电路简化。

控制方法 控制系统对变频器进行控制的方法有:转速开环、电压闭环控制,转差频率控制速度闭环,矢量控制以及自同步控制。前两种控制方法和自同步控制都是对被控制量的大小进行控制,属于标量控制的范畴。矢量控制则是对被控制量的大小和相位都进行控制。转速开环、电压闭环控制的调速系统,较多地用于多电动机传动系统中,因而不能采用测速反馈形成闭环,也不能象单电机传动那样得到理想的动态特性。转差频率速度闭环控制调速系统可以得到与晶闸管直流调速双闭环系统(见直流电动机调速)相近的静态和动态特性,故适用于要求高性能转速控制的场合。矢量控制是一种新的控制思想和控制方法,矢量控制调速系统能使交流电动机获得如同直流电动机一样良好的动态调速特性,可以得到软控制特性,又没有直流电动机的电刷和换向器装置,适用于大、中、小容量交流电动机电力拖动中。自同步控制用于无换向器电机调速系统,称无换向器电机调速,但其响应不如矢量控制迅速。

运行方式 电动机在变频电源下的运行方式有恒磁通运行和恒功率运行两种。变频器的控制必须适应电动机的这两种运行方式。

恒磁通运行是在调速过程中保持电动机的气隙磁通不变,以保持电动机具有合理的气隙磁通。由于电动机定子绕组感应电动势是和电源频率及气隙磁通的乘积成正比的,在绕组电动势一定的情况下,气隙磁通将和频率成反比。为了保持气隙磁通不变,必须保持电动势和频率的比值也不变,即调节频率的同时成比例地调节电动势,这是理想的保持磁通不变的控制条件。如果采用电压和频率的比值不变的控制原则,在低频时定子电阻压降的影响较大,致使最大转矩下降。所以恒电压频率比控制原则只适合于调速范围不太大、最低转速不太低,或者负载转矩随转速的降低而减小的负载,如与转速平方成正比的风机水泵类负载。图1为恒电压频率比运行时感应电动机的转矩-转速特性,曲线1~5分别表示感应电动机在供电频率为 $f_1 \sim f_5$ 时的转矩-转速特性。如果在控制回路中加入函数发生器控制环节,能补偿低频时定子电阻的电压降,使电动势频率比近似等于常数,当进行恒转矩调速时,可保持电动机的过载能力不变。图2为经过补偿

定子电阻压降后的感应电动机的转矩-转速特性及恒负载转矩特性。

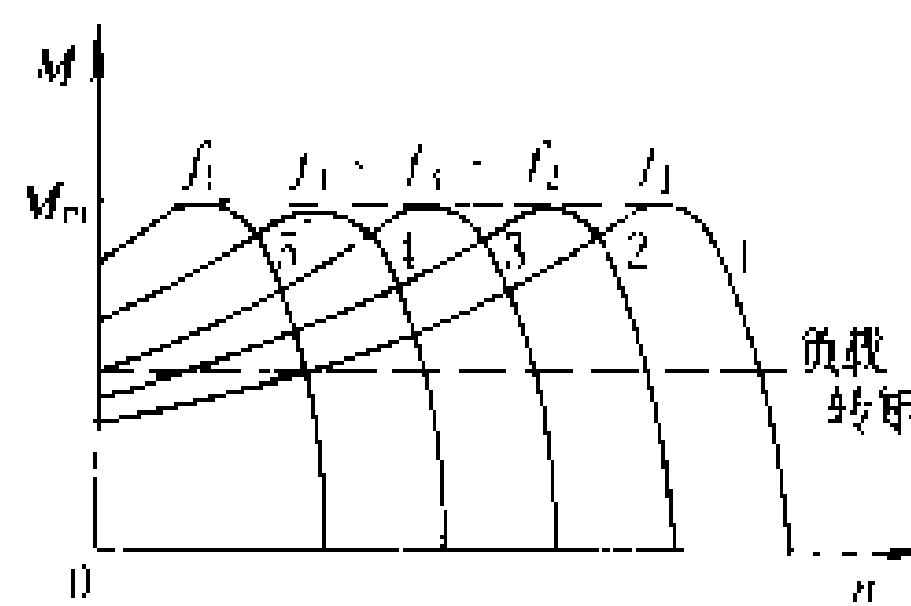


图2 补偿后的感应电动机转矩-转速特性

不变的过载能力。如负载本身是恒功率性质,电动机电压应随频率的平方根成比例变化,此时气隙磁通与频率平方根成反比,因而气隙磁通应以最低频率时为准。如负载是转矩与转速平方成比例的风机、水泵类,电动机电压应随频率的平方成比例变化,此时气隙磁通与频率成正比,因而气隙磁通应以最高频率时为准。恒功率变频调速主要用于牵引电机中。此外,当恒转矩变频调速的频率至额定频率(电机铭牌规定值)以后,由于调速装置的耐压和电机容量的限制,电动机电压将维持不变,可以得到近似恒功率调速。图3为恒功率运行时的感应电动机转矩-转速特性。

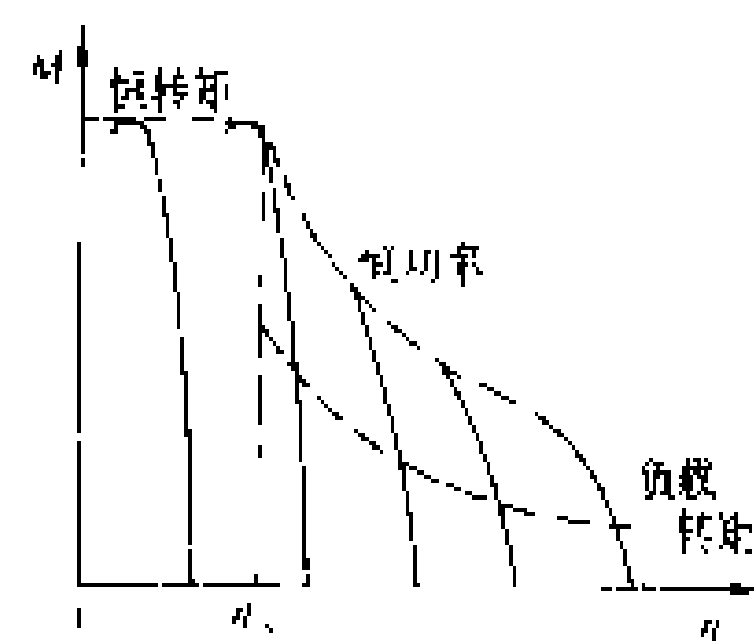


图3 恒功率运行时感应电动机的转矩-转速特性

参考书目

许大中, 贾益康编, 电机的电子控制及其特性, 北京: 机械工业出版社, 1988

(施传立)

bianyaqi jiedian jishu

变压器节电技术 (transformer's technology saving electricity)

降低电力变压器(见输电与配电卷 电力变压器)电能损耗的措施与方法。电力变压器是电力系统中实现电能转换与分配的电气设备。电力变压器在进行电能转换的过程中,存在电能的消耗。虽然其效率已达到98%以上,但由于在电力系统中变压器的拥有量很大,因此,变压器总的电能损耗十分可观。降低变压器的损耗是节能的重要课题。

变压器损耗是变压器质量指标之一。变压器损耗包括空载损耗和负载损耗。空载损耗,又称铁损。它是由励磁电流在变压器铁芯中产生的交变磁通引起的。铁损又分为涡流损耗和磁滞损耗。涡流损耗是交变磁通在铁芯中产生的感应电流引起的热损失,其大小与铁芯材料的电阻率和铁芯厚度有关。非晶合金电阻率



一些国家 10 kV 中、小型变压器同类产品性能数据对比表

额定容量 (kV·A)	空 载 损 耗 (W)						负 载 损 耗 (W)						总 量 (kg)				
	西德	中国	中国	中国	中国	西德	意大利	挪威	意大利	比利时时 AC EC 正常 损耗	比利时时 AC EC 低耗	挪威	意大利	比利时时 AC EC 正常 损耗	比利时时 AC EC 低耗	挪威	意大利
	西门子	SL7	S9	S9	S9	西门子				中国	比利时时 AC EC 正常 损耗	比利时时 AC EC 低耗		中国	比利时时 AC EC 正常 损耗	比利时时 AC EC 低耗	
30		150	130	120						600				317	340		
50	190	190	170	155	150	1250	175	175	870	850	850	980	870	480	455	400	455
63		220	200	190			200			1080			1000	525	505		
80		270	250	230	210		250		1245	1230	1280		1245	590	590		560
100	320	320	290	280	230	2150	290	300	1450	1485	1650	1450	1450	685	650	620	680
125	375	370	350	320	275	2500	352		1720	1735	1800		1720	790	790		710
160	455	460	420	390	325	3100	462		2080	2075	2150		2080	945	930		875
200	545	540	500	460	390	3600	505	480	1950	2495	2600	1950	2470	1070	1045	1160	1020
250	670	640	590	535	475	4100	600		2920	2945	2950		2920	1235	1245		1210
315	800	760	700	650	575	4900	720	640	3470	3420	3450	2900	3470	1470	1430	1380	1430
400	960	920	840	775	725	6000	865	920	4160	4195	4200	3150	4160	1790	1645	1660	1700
500	1150	1080	1000	945	950	7150	1030	950	4920	4980	4900	4000	4920	2050	1890	1890	2025
630	1350	1300	1230	1145	1070	8400	1250	1180	5800	5950	5750	4700	5800	2760	2825	2220	2450
800	1450	1540	1450	1340	1360	11000	1500	1230	7200	7195	7150	6500	7200	3200	3215	2610	2930
1000	1750	1800	1720	1675	1520	13500	1750	1300	10000	9955	8600	8600	10000	3980	3945	2870	3650
1250	2100	2200	2000	1800	1800	16400	2050	1900	11500	11665	10000	9000	11500	4650	4650	3750	4320
1600	2550	2650	2450	2320	2200	19800	2500	2000	14000	13975	16000	12400	14000	5620	5205	4500	5320



约为 $130 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ ，标准厚度 0.028 mm ；硅钢带电阻率为 $60 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ ，标准厚度 $0.2 \sim 0.3 \text{ mm}$ 。用上述两种材料做成相同容量的变压器，非晶合金比硅钢带的涡流损耗可降低一半以上。磁滞损耗是在交变磁场作用下使铁芯的磁畴周期性旋转引起的铁芯发热损耗。其大小与铁芯材料、铁芯的结构、加工工艺及加工质量等因素有关。负载损耗，又称铜损或短路损耗。它包括由电流在绕组直流电阻上产生的损耗、绕组的涡流损耗以及漏磁场在绕组和金属部件中产生的杂散损耗。铜损除与绕组所用的导电材料有关外，还与绕组导线的截面积、绝缘结构、绕组绕制方式、金属部件材质性能、漏磁通的屏蔽方法等因素有关。

变压器的节电技术主要分为设计制造方面和生产运行方面两部分。设计制造方面的节电技术是利用新型电磁材料、新型的生产工艺开发研制出高效节能变压器，用以更新改造低效变压器。在生产运行方面的节电技术则是利用新的技术手段或加强运行管理，使变压器经常保持在高效区运行。

变压器经济运行 在满足供电对象用电需求和安全的条件下，采取技术或管理措施，使变压器处在电能损耗最低状态下运行，称为变压器经济运行。变压器的电能损耗除与变压器性能、容量和台数有关外，还随着负荷的变化而变动。当变压器的空载损耗等于负载损耗时，变压器效率最高，即变压器的能量损耗所占的比重最小。因此，合理地选择变压器运行方式和按变压器经济运行条件调整用电负荷，可以降低变压器的损耗，实现节约用电。

对两台或两台以上并列运行的变压器，要按并列运行变压器的技术性能参数，来选择变压器的最佳运行方式；对几台并列运行的变压器，要按每台变压器的技术性能参数，并以总损耗最小的原则，合理地分配各台变压器的负荷；对季节性运行的变压器，非生产季节应停止运行，不能停运的，应配用小容量变压器或变容量变压器；对平均负荷率小于 30% 的变压器，在进行技术经济评价后，可更换为相应容量的节能变压器。

采用节能变压器 采用新材料、新结构、新工艺制造的节能变压器，其损耗比一般低效变压器小，因此又称低损耗变压器。生产低损耗变压器是世界各国变压器发展的一种趋势。这不仅仅是世界性能源紧张，节能的需要，也是技术进步、产品更新换代的必然结果。以 10 kV 中、小型变压器为例，一些国家同类产品性能数据的比较见表。中国生产的 S7、S9 系列变压器相对于 S3 标准系列来说，属于节能型变压器。

非晶合金变压器 80 年代初在美国发展起来的一种新型低损耗变压器。所谓“非晶合金”就是使熔化的合金材料急速冷却，在它还未来得及结晶时就已固

化，原子呈不规则排列，没有一般金属的晶体结构。这种合金含铁 80% ，含硅、硼 20% ，具有较高的机械强度、韧性和较强耐蚀性及独特的磁特性，具有高导磁率、高电阻率。在相同的磁密下，用非晶合金做成的变压器的铁损要比传统的硅钢片变压器低 $65\% \sim 75\%$ 。非晶合金变压器还具有过负荷能力大，温升低、噪声小的特点。中国冶金研究院 20 世纪 80 年代末研制生产出 $50 \text{ kV} \cdot \text{A}$ 变压器，已在河北涿州市投入商业化试运行。

(徐纪法 蒋凤铎)

bianzhuqi

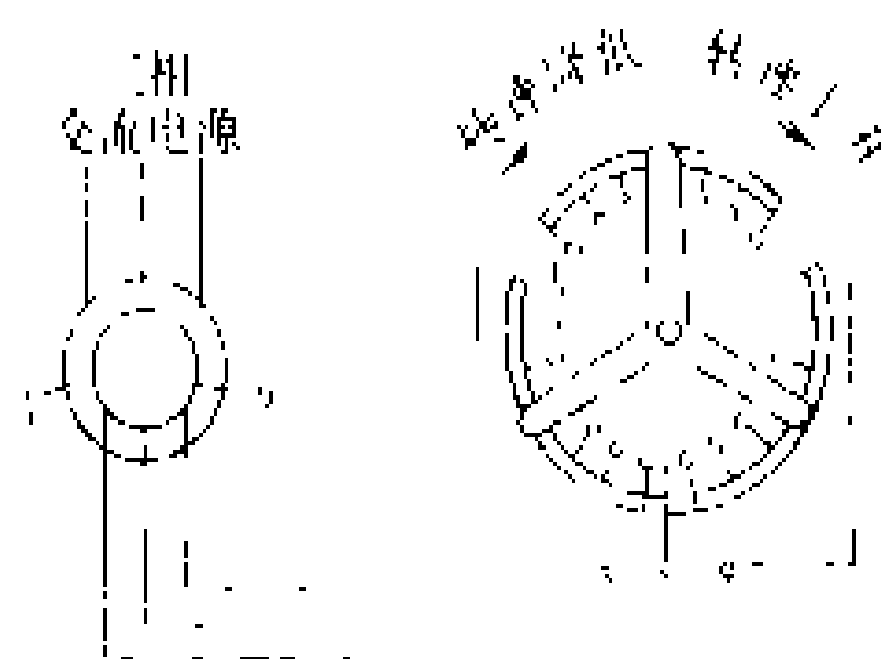
变阻器 (rheostat) 用电阻材料制成的电阻零部件和换接装置组成的电器，可在不断开电路的情况下分级地或均匀地改变阻值的电阻器。变阻器广泛用于电动机的起动、调速、制动，发电机的电压调节以及实验、控制等场合。常用的变阻器有滑线式变阻器、起动变阻器、频敏变阻器、调速变阻器、励磁变阻器。

滑线式变阻器，接触点在密绕的金属丝上移动，以变更电阻值的变阻器。用手柄旋转操作的称为旋臂滑线式变阻器。

起动变阻器，专用于电动机起动时限制起动电流的变阻器，包括液体变阻器和油浸起动变阻器。常用的液体变阻器是在金属槽内放入加盐的水，借手柄的转动调整板形电极插入电液中的深度以改变电阻值。油浸起动变阻器是将电阻元件浸入变压器油的油箱中借以散热，由于油箱有很大的比热容，所以其发热时间常数很大，适用于短时起动和制动大、中型电动机。

频敏变阻器，利用铁磁材料随频率变化而变化的特性来自动改变等效阻抗值，使电动机达到平滑起动的变阻器。它是由铁芯和线圈组成的静止电器，接于电动机转子回路中，相当接入转子回路一个等值阻抗。频敏变阻器由于铁芯采用普通厚钢板叠成，因此，当线圈通电时即在铁芯中产生很大的、随频率变化而变化的涡流损耗，从而使它的等值阻抗随频率变化而自动改

变。在电动机起动过程中，随着转速的上升，转子电流频率的下降，频敏电阻器的涡流损耗由大自动减小，从而其等值阻抗也自动减小。这种变阻器使电动机在起动中可获得近似恒转矩的良好特性，同时因



起动调速变阻器原理接线图

1—交流绕组式异步电动机定子；

2—转子



其结构简单,维护容易,造价低廉,得到广泛应用。

调速变阻器,用于调节电动机转速的变阻器。对用作起动和调节转速的变阻器称为起动调速变阻器其原理接线如图所示。

励磁变阻器,串联于电机的励磁绕组中,用以调节电机励磁电流的变阻器。对发电机而言它可调节发电机的电压,对电动机而言它可调节电动机的转速。

(甘懋云 方鸿发)

bingqilinji

冰淇淋机 (ice-cream machine) 制作冰淇淋的制冷器具(见家用电器),又称雪糕机。冰淇淋器有带制冷系统和不带制冷系统之分。前者多用于冷饮服务业,后者用于家庭。两者都是在边冷却、边搅拌的过程中制取冰淇淋。

带制冷系统的冰淇淋机,其圆筒形蒸发器内装有刮拌器,在 $-25\sim-20^{\circ}\text{C}$ 的蒸发温度下,刮拌器以 110 r/min 左右的转速搅拌、刮削蒸发器圆筒内的冷饮料,通过冷却、冰冻,形成松散柔软的冰淇淋晶粒,最后冻结成半固体半液体状的冰淇淋,从前部取物口排出。

不带制冷系统的冰淇淋机有两种:①用碎冰冷却的冰淇淋机,设有内、外两个金属圆筒,外筒外壁敷设隔热层,内筒中盛放预先配制好的冰淇淋液,内外筒之间的环状空间由人工铺装食盐、水和足够多的碎冰块,由于食盐降低了溶液的冰点,所以,盐水溶液温度保持在 0°C 以下,使之与内筒壁间有良好的换热。制作冰淇淋时,用一台微电机通过减速机构带动搅拌器,在内筒中以低速搅拌冰淇淋液。由于冰淇淋液的热量不断被冷盐水吸收,温度逐渐降低,最后形成由冰的晶粒、空气和液体组成的松软的冰淇淋。②在冰箱冷冻室内冷却的冰淇淋机,只设一个盛放冰淇淋液的金属圆筒,圆筒中盛放预先配制好的冰淇淋液,装好搅拌器,微电机通过减速机构带动搅拌器低速搅拌冰淇淋液,其热量不断被冷冻室蒸发器吸收,温度逐渐降低,待冰淇淋液冻结到一定硬度,装在内部的弹簧机构动作,使微电机停止转动,冰淇淋制成。

(张友良)

bingwang guanli

并网管理 (management of parallel connection with power network) 对待并入电力系统运行的孤立发电厂或小电力系统的并网请求、并网条件与并网后的运行调度等进行的监督检查活动。并网管理的目的,是为了保障电力系统安全稳定运行和电能质量。孤立发电厂或小电力系统与相邻电力系统

(见电力系统卷电力系统)发生电气连接,进行功率交换的行为称为并网。利用小水电、地热、风能、地方燃料(小窑煤)等资源建设的发电厂、企业自备电厂以及以上述发电厂为电源的地方电力系统,一般受资源与地区局限性的制约,建设规模较小,发电出力不稳,供电质量较差,电力余缺调节能力差,抗御事故与负荷冲击能力很弱,发电厂和电力系统的安全可靠运行得不到保证,地区的经济发展也受到制约。孤立发电厂或小电力系统与相邻电力系统实行并网运行可以有效地克服上述缺点,并可使地方资源得到充分利用。并网管理的主要内容是:受理并网申请,确定并网方案,签订并网协议,按照规定进行运行调度与安全监督。

受理并网申请 孤立运行的发电厂或小电力系统拟并网运行时,应向当地电力部门提出书面并网申请,并提供上级批准的文件。并网申请书应说明并网的理由,并网发电厂或电力系统的规模、地址或供电区域、供电对象、资金与资产、主要设备或供电网络、交换的功率与电量、要求并网日期等内容。要求并网的发电厂或电力系统应具有可靠的通信联络设施、并网与解网装置和保证安全的继电保护装置,有合格的运行管理人员和完整的规章制度。

确定并网方案 电力部门根据电力系统结构和电力系统发展规划,对并网申请进行审查,提出合理的并网方案,并书面答复申请并网的发电厂或电力系统。并网发电厂或电力系统要按电力部门批复的并网方案,进行接入电力系统的联网工程设计与施工。并网方案包括:并网电压,并网的变电所或线路,并网设备台数和容量,对接入电力系统的联网工程要求,继电保护配合方案,并网运行方案,计量方式,通信调度,电价与电费结算等内容。

签订并网协议 并网协议中规定的并网双方的权利、义务是:有共同享有并网运行效益的权利,并承担调峰、调频和事故备用义务;并网发电厂或电力系统应承担接入电力系统的联网工程的建设和运行责任,当并网发电厂或电力系统事故或检修时,电力部门应向其提供电力;并网发电厂或电力系统应服从电力调度部门的统一调度,遵守电力行业的规章,按上网电量依法取得收益;违反并网协议时,违约方应承担相应的经济责任。(见供用电协议)

并网运行管理 对并网发电厂或电力系统的运行管理,一般是通过电力调度部门实施的,主要对并网发电厂或电力系统的停机、开机、倒闸操作、有功与无功出力调整、继电保护装置投入或退出、计划检修安排、电气事故处理等工作进行调度指挥。

(余义浦 徐纪法)

buduicheng fuhe

不对称负荷 (unsymmetrical load) 在交流三相电力系统中出现的有相位差或有幅值差,或既有相位差,又有幅值差的三相功率、电流。不对称负荷可分解为正序、负序、零序三组对称分量。不对称负荷引起的三相不平衡程度一般用不对称度表示,即用负序分量与正序分量之比表示,它是衡量电能质量的指标之一。

不对称负荷的正序、负序和零序三组对称分量中的负序电流分量,使发电机三相电流不平衡,个别相的绕组过载发热并产生与转子旋转方向相反的负序旋转磁场,因而在励磁绕组、阻尼绕组和转子本体中,感应出 2 倍频率的交流电流并形成交变电磁力矩,致使电机产生振动。它引起电力系统中大量电动机的发热,对电子设备,如电子计算机也会产生影响。

产生不对称负荷的原因有:①三相磁路、电路不对称,即三相阻抗不对称。如三相三铁芯柱变压器、三相架空输电线等的三相磁路不相同会引起三相负荷不对称。②单相设备接入系统。如电力机车、单相电动机、电焊机等接入系统,在运行中都会造成三相负荷不对称。③用电设备三相负荷不对称。如电弧炼钢炉在其炼钢熔化期内三相负荷经常是不对称的。

在进行电力系统和工业企业电气设计时,应努力做到三相负荷对称,如有单相负荷也应尽量三相搭配平衡。如对电力机车的牵引负荷中各牵引站高压侧接入电力系统时要进行换相,使机车负荷能较均匀地分配在各相上。

(王秉宗)

bujin diandongji

步进电动机 (stepping motor) 将电脉冲信号转换成相应的角位移(或线位移)的同步电动机。步进电动机能够直接把电脉冲信号转换成直线运动或者旋转运动,它每接到一个数字脉冲信号就准确地跨进一步,所以又叫做脉冲电动机、数字电动机。对步进电动机的定子绕组按一定程序激励时,其转子作离散的按一定角位移(或直线位移)增量的运动。步进电动机的转子做成多极的,定子上嵌装有多相控制绕组,由专用电源供给电脉冲。步进电动机可以在宽广的范围内,通过改变脉冲频率来调速、快速启动、反转和制动。

早先的步进电动机是根据定位电磁铁的理论设计的,并尽一切可能去减少绕组之间的互感。后来人们发现,将定子的旋转磁通势离散成步进磁通势后,所有的同步电动机都具有步进电动机的性能,从而将步进电动机的性能指标提高到同步电动机的水平。

步进电动机的最大特点是不用位置反馈环节就能获得很高的定位精度。微电子技术、电力电子技术加上永磁材料的迅猛发展使得由步进电动机组成的增量运动控制系统不断发展。它广泛应用于计算机的外围设备、绘图机、轧钢机的自动控制、自动记录仪表和数模变换等。

步进电动机按照其结构和工作原理可分为两种基本类型:机电式和磁电式。

机电式步进电动机 由铁芯、绕组、齿轮机构等组成(图 1)。当螺旋线管绕组通电时,产生磁力,推动其铁芯芯子运动,通过齿轮机构使输出轴转动一角度,依靠抗

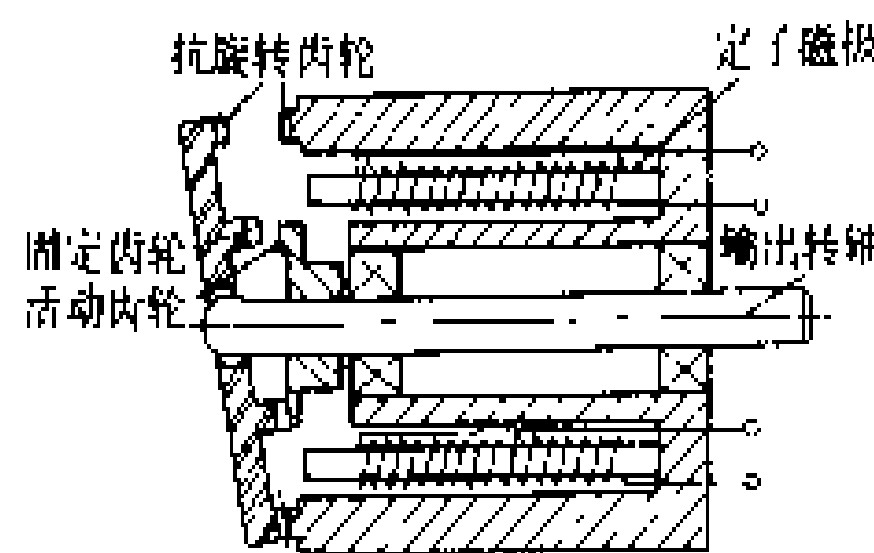


图 1 机电式步进电动机

旋转齿轮使输出转轴保持在新的工作位置;绕组再通电,转轴又转动一角度,依次进行步进运动。这种类型步进电动机工作可靠,在低速时能产生很大的力矩,但用得不多。

磁电式步进电动机 其结构简单,可靠性高,价格低廉,应用广泛。主要有永磁式、反应式和永磁感应子式。

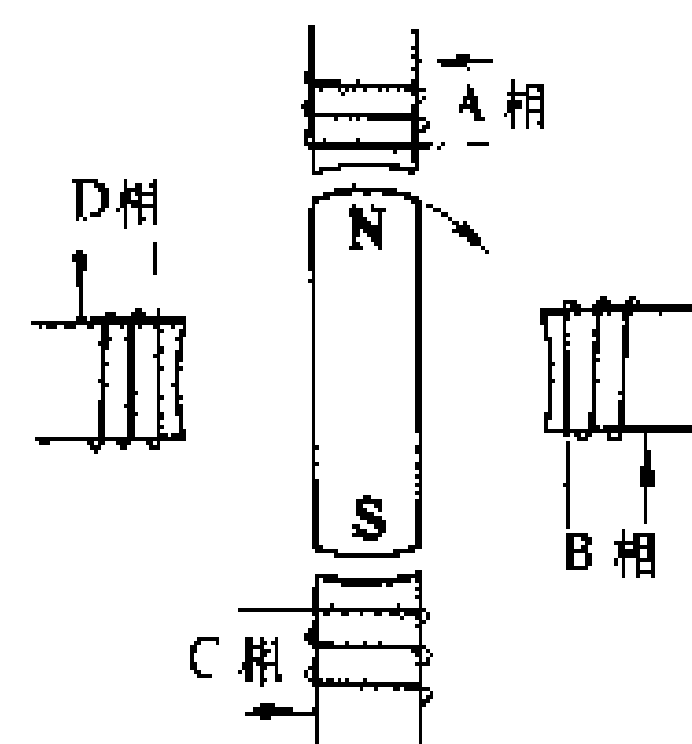


图 2 永磁式步进电动机基本原理

当 A 相绕组通电时,转子磁钢将转向该相绕组所确定的磁场方向。当 A 相断电、B 相定子绕组被通电激励时,就产生一个新的磁场方向,这时,转子就转动一角度而位于新的磁场方向上,被激励相的顺序决定了转子运动方向。若定子激励的变化太快,转子将不能和定子磁场方向的变化保持一致,转子即失步。起动频率和运行频率较低,是永磁式步进电动机的一个缺点。但永磁式步进电动机消耗功率较小,步矩角较大。

20 世纪 80 年代初,出现了盘式结构的永磁式步进电动机,使步矩角及工作频率达到反应式步进电动机的水平。

(2) 反应式步进电动机。在其定、转子铁芯的内外表面上设有按一定规律分布的相近齿槽,利用定、转子铁芯齿槽相对位置变化引起磁路磁阻的变化,从而产生转矩。其转子铁芯由硅钢片或软铁做成,当定子某相被激励时,转子将运动到使磁路磁阻最小的位置。磁路磁阻随转子转动而变化。因此,这种电动机又称可变



磁阻式步进电动机。当另一相被激励,转子转到另一位置,使磁路磁阻为最小时,电动机就停止转动。这时,转子转过一个步矩角 θ_b , 即

$$\theta_b = \frac{360}{N} \cdot Z_R$$

式中 N 为转子转过一个齿距的运行拍数, Z_R 为转子齿数。

反应式步进电动机结构形式较多。定子铁芯有单段式、多段式;磁路有径向、轴向;绕组相数有三相、四相、五相。

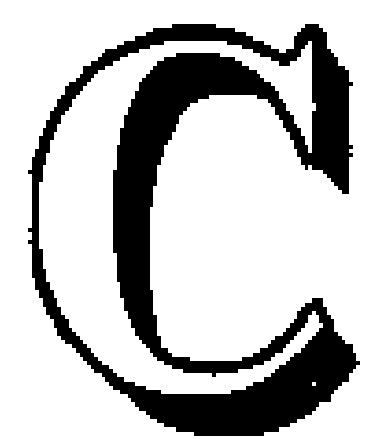
反应式步进电动机步矩角可做到 $1^\circ \sim 15^\circ$, 甚至更

小,精度容易保证,起动与运行频率较高,但功耗较大,效率较低。

(3) 永磁感应子式步进电动机,又称混合式步进电动机,是永磁式步进电动机与反应式步进电动机两者的结合。它的定、转子铁芯结构与反应式步进电动机相似。

永磁感应子式步进电动机兼有永磁式步进电动机与反应式步进电动机两者的优点,电动机步距角小,精度高,工作频率高,且功耗小,效率高。

(刘宗富 高宝贤)



cesu fadianji

测速发电机 (tachogenerator; tachometer generator)

一种将转速转换成电信号的检测元件。测速发电机输出的电压信号(幅值信号或频率信号等)与转速成正比例关系,一些测速发电机的输出信号还能反映转向。测速发电机广泛用于各种速度或位置控制系统,在自动控制系统中作为检测速度的元件,以调节电动机转速或通过反馈来提高系统稳定性和精度;在解算装置中可作为微分、积分元件,也可作为加速或延迟信号用,或用来测量各种运动机械在摆动或转动以及直线运动时的速度。测速发电机有直流和交流两大类。

直流测速发电机 按直流电机原理工作的测速发电机。其输出直流电压的大小正比于转速,极性与转速有关。直流测速发电机的结构与直流发电机相同。按励磁方式可分为电磁式和永磁式。按电枢结构不同可分为有槽电枢、无槽电枢、空心电枢和圆盘式印制绕组电枢。电磁式采用他励式,不仅复杂而且输出电压变化较大,用得不多。永磁式的定子用高性能永久磁钢构成,输出电压变化小,受温度变化的影响小,输出斜率(在一定励磁条件下,单位转速即 1000 r/min 产生的输出电压)高,线性误差小。这种电机在 20 世纪 80 年代因新型永磁材料的出现而发展较快。永磁式有槽电枢的直流测速发电机应用较多。

直流测速发电机的工作原理与直流发电机相同。在恒定磁场下,旋转的电枢导体切割磁通,就会在电刷间产生感应电动势。空载时,电机的输出电压与转速成正比。负载时,由于负载电阻、电枢电阻和电刷接触电阻引起的电压降,温度变化、磁极和电枢的磁滞及涡流的影响,电枢反应、齿槽效应以及换向过程对感应电动势瞬时值的影响等,使电机输出特性[输出电压 U 与转速 n 的关系,即 $U=f(n)$]的线性度变差;电刷与换向器的接触压降导致产生不灵敏区。

直流测速发电机的主要优点是:输出为零时,无剩余电压;输出斜率大,负载电阻较小;温度补偿较容易。主要缺点是:由于有电刷和换向器,构造和维护比较复杂,

摩擦转矩较大;输出电压有纹波;正反转输出电压不对称;对无线电有干扰。

交流测速发电机 按交流电机原理工作的测速发电机。其输出为交流电压信号。交流测速发电机分为同步和异步两种。

同步测速发电机 空载时输出交流电压的幅值和频率均与转速成正比的测速发电机。同步测速发电机又分为永磁式、感应子式和脉冲式。永磁式不需要励磁电源,具有结构简单易于维修的优点,但极数比较少,用二极管整流后纹波比较大,滤波比较困难。感应子式极数比较多,整流后纹波比较小且便于滤波,但结构复杂维修困难。以上两种测速发电机既可用输出电压的幅值去反映转速,也可用输出电压的频率去代表转速。前者是模拟量,需要整流和滤波;后者是数字量,可以直接输入微处理机。如果将幅值和频率合起来使用,就有可能实现高灵敏度的转速检测,但不能判别旋转方向,这一点不如直流测速发电机。脉冲式是以脉冲频率作为输出信号,可以直接输入微处理机,是测速码盘中每转发出脉冲数较少的一种。由于其结构简单,坚固耐用,可以判别旋转方向,近几年随着数字技术的发展被广泛应用。

异步测速发电机 输出交流电压频率与励磁频率相同,其幅值与转子转速成正比的交流测速发电机。异步测速发电机的结构和普通两相笼型感应电动机相同,定子上互差 90° 的两相绕组中,一相为励磁绕组,接在 50 Hz 或 400 Hz 的交流电源上,另一相输出转速信号。当转子堵转时,定子励磁绕组在转子多相对称绕组中只产生变压器电动势,于是转子磁通势和定子磁通势方向相反,起去磁作用,与这两个磁通势垂直的输出绕组中不感生电动势。当转子转动后,笼型绕组中除产生变压器电动势外还将产生切割电动势。由切割电动势产生的磁通势具有交轴的性质,它交链输出绕组并在其中感生和转速成正比的信号电压。信号电压的频率和电源电压相同,信号电压对电源电压的相位差随旋转方向改变,所以很适于和交流伺服电动机配套使用。笼型转子异步测速发电机的结构简单,可靠性高,输出斜率大;但线性度差,相位误差大,剩余电压高。为了提高异步测速发电机的精度,应用较广的是杯形转子异步测速发电机。这种电机的转子是一个薄壳非磁性圆环,由电阻率较高的硅锰青铜或锡锌青铜制成,杯的内外由内定子和外定子构成磁路,杯壁也不是铁磁材料。为了减小气隙,杯壁必须较薄,约为 0.2~0.3 mm。

异步测速发电机的励磁绕组中如果通以直流,直轴磁通就将不再脉振而变成恒定磁通。当转速恒定时,由切割电动势产生的交轴磁通亦将恒定不变,所以输



出绕组中不产生电动势。当转速发生变化时,交轴磁通的大小将随着转速的变化而变化,它交链输出绕组并在其中感生和转子加速度成正比的电动势,所以向异步测速发电机的励磁绕组中送入直流,它就是一个加速度检测器。

参考书目

刘宗富主编,电机学,北京:冶金工业出版社,

1982

(刘宗富 高宝贤)

chacuo dianliang jisuan

差错电量计算 (calculation of energy error)

电能计量装置在错误接线时测得的电量值与正确接线时测得电量值之差,为差错电量。计算差错电量是电力部门对用户退补电费的依据。

电量差错原因 在现场运行的电能表,有很多因

素造成电能计量差错。如电流、电压互感器倍率不符和绕组极性接错,电流或电压回路有短路或断路,电流线和电压线相互不对应等,其中任何一项差错都会导致电能计量的不准确。对于单相电能表和直接接入式三相电能表(低压小用户),其接线较简单,错误容易发现和改正,但对经互感器接入的电能表,因其接线复杂,容易发生差错。

差错电量的计算 差错电量(ΔW)亦称退补电量, $\Delta W=W_0-W$,式中 W 为在错误接线期间,电能表测得的电量; W_0 为同时期内,电能表接线正确时应测得的电量,称为实际消耗电量。实际消耗的电量可用下式求得

$$W_0 = G_x W$$

式中 G_x 为电量更正系数,可用测试法或计算法求得。当已知三相三线有功电能表接线时,可由表中查得相应的 G_x 。

三相三线有功电能表错误接线更正系数

转动方向 (负载为感性)	接线方式	两元件测得的功率 ($\times UI$)	有功功率 ($\times UI$)	错误接线更正系数 G_x
正 转	$\begin{matrix} U_{AB} & I_A \\ U_{CB} & I_C \end{matrix}$	$\cos(30^\circ + \varphi) + \cos(30^\circ - \varphi)$	$\sqrt{3} \cos \varphi$	1
	$\begin{matrix} U_{CA} & -I_A \\ U_{BA} & -I_C \end{matrix}$	$\cos(30^\circ - \varphi) + \cos(90^\circ - \varphi)$	$\sqrt{3} \cos(60^\circ - \varphi)$	$\frac{2}{1 + \sqrt{3} \operatorname{tg} \varphi}$
	$\begin{matrix} U_{BC} & -I_C \\ U_{AC} & I_A \end{matrix}$	$\cos(30^\circ - \varphi) + \cos(30^\circ - \varphi)$	$2 \cos(30^\circ - \varphi)$	$\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3} + \operatorname{tg} \varphi}$
	$\begin{matrix} U_{BC} & I_A \\ U_{AC} & -I_C \end{matrix}$	$\cos(90^\circ - \varphi) + \cos(30^\circ + \varphi)$	$\cos(30^\circ - \varphi)$	$\frac{2 \sqrt{3}}{\sqrt{3} + \operatorname{tg} \varphi}$
	$\begin{matrix} U_{AB} & I_C \\ U_{CB} & -I_A \end{matrix}$	$\cos(90^\circ - \varphi) + \cos(90^\circ - \varphi)$	$2 \sin \varphi$	$\frac{\sqrt{3}}{2 \operatorname{tg} \varphi}$
	$\begin{matrix} U_{AB} & -I_A \\ U_{AC} & -I_C \end{matrix}$	$\cos(150^\circ - \varphi) + \cos(30^\circ - \varphi)$	$\sin \varphi$	$\frac{\sqrt{3}}{\operatorname{tg} \varphi}$
停 转	$\begin{matrix} U_{AB} & I_C \\ U_{CB} & I_A \end{matrix}$	$\cos(90^\circ - \varphi) + \cos(90^\circ + \varphi)$	0	
	$\begin{matrix} U_{AB} & -I_C \\ U_{CB} & -I_A \end{matrix}$	$\cos(90^\circ + \varphi) + \cos(90^\circ - \varphi)$	0	
	$\begin{matrix} U_{BC} & I_C \\ U_{AC} & I_A \end{matrix}$	$\cos(150^\circ + \varphi) + \cos(30^\circ - \varphi)$	0	
	$\begin{matrix} U_{BC} & -I_C \\ U_{AC} & -I_A \end{matrix}$	$\cos(30^\circ - \varphi) + \cos(150^\circ + \varphi)$	0	
	$\begin{matrix} U_{CA} & I_C \\ U_{BA} & I_A \end{matrix}$	$\cos(30^\circ + \varphi) + \cos(150^\circ - \varphi)$	0	
	$\begin{matrix} U_{CA} & -I_C \\ U_{BA} & -I_A \end{matrix}$	$\cos(150^\circ - \varphi) + \cos(30^\circ + \varphi)$	0	
反 转	$\begin{matrix} U_{CA} & I_A \\ U_{BA} & I_C \end{matrix}$	$\cos(150^\circ + \varphi) + \cos(90^\circ + \varphi)$	$-\sqrt{3} \cos(60^\circ - \varphi)$	$\frac{-2}{1 + \sqrt{3} \operatorname{tg} \varphi}$

续表

转动方向 (负载为感性)	接线方式	两元件测得的功率 ($\times UI$)	有功功率 ($\times UI$)	错误接线更正系数 G_x
反 转	$U_{BC} \quad I_C$ $U_{AC} \quad -I_A$	$\cos(150^\circ + \varphi) + \cos(150^\circ + \varphi)$	$-2\cos(30^\circ - \varphi)$	$\frac{-\sqrt{3}}{\sqrt{3} + \operatorname{tg}\varphi}$
	$U_{BC} \quad -I_A$ $U_{AC} \quad I_C$	$\cos(90^\circ + \varphi) + \cos(150^\circ - \varphi)$	$-\cos(30^\circ - \varphi)$	$\frac{-2\sqrt{3}}{\sqrt{3} + \operatorname{tg}\varphi}$
	$U_{AB} \quad -I_A$ $U_{CB} \quad -I_C$	$\cos(150^\circ - \varphi) + \cos(150^\circ + \varphi)$	$-\sqrt{3}\cos\varphi$	-1
	$U_{AB} \quad -I_C$ $U_{CB} \quad I_A$	$\cos(90^\circ + \varphi) + \cos(90^\circ + \varphi)$	$-2\sin\varphi$	$\frac{-\sqrt{3}}{2\operatorname{tg}\varphi}$
	$U_{AB} \quad I_A$ $U_{CB} \quad -I_C$	$\cos(30^\circ + \varphi) + \cos(150^\circ - \varphi)$	$-\sin\varphi$	$\frac{-\sqrt{3}}{\operatorname{tg}\varphi}$
转向不定	$U_{BC} \quad -I_A$ $U_{AC} \quad -I_C$	$\cos(90^\circ + \varphi) + \cos(30^\circ + \varphi)$	$\sqrt{3}\cos(60^\circ + \varphi)$	$\frac{2}{1 - \sqrt{3}\operatorname{tg}\varphi}$
	$U_{BC} \quad I_A$ $U_{AC} \quad I_C$	$\cos(90^\circ - \varphi) + \cos(150^\circ - \varphi)$	$-\sqrt{3}\cos(60^\circ + \varphi)$	$\frac{-2}{1 - \sqrt{3}\operatorname{tg}\varphi}$
	$U_{CA} \quad I_C$ $U_{AB} \quad -I_A$	$\cos(30^\circ + \varphi) + \cos(30^\circ + \varphi)$	$2\cos(30^\circ + \varphi)$	$\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3} - \operatorname{tg}\varphi}$
	$U_{CA} \quad -I_C$ $U_{BA} \quad I_A$	$\cos(150^\circ - \varphi) + \cos(150^\circ - \varphi)$	$-2\cos(30^\circ + \varphi)$	$\frac{-\sqrt{3}}{\sqrt{3} - \operatorname{tg}\varphi}$
	$U_{CA} \quad -I_A$ $U_{BA} \quad I_C$	$\cos(30^\circ - \varphi) + \cos(90^\circ + \varphi)$	$\cos(30^\circ + \varphi)$	$\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3} - \operatorname{tg}\varphi}$
	$U_{CA} \quad I_A$ $U_{BA} \quad -I_C$	$\cos(150^\circ + \varphi) + \cos(90^\circ - \varphi)$	$-\cos(30^\circ + \varphi)$	$\frac{-2\sqrt{3}}{\sqrt{3} - \operatorname{tg}\varphi}$

注：接线方式栏中第一行表示第一元件所接电压、电流；第二行表示第二元件所接电压、电流。

当已知电能表在错误接线状态下的基本误差 γ 时，差错电量为 $\Delta W = W_0 - W = \left[G_x \left(1 - \frac{\gamma}{100} \right) - 1 \right] W$ 。
当 ΔW 为正值时，表明用户应补交电费；当 ΔW 为负值时，表明应退给用户电费。

当电流、电压互感器倍率不符时，其差错电量 $\Delta W = \text{倍率正确时的电量} - \text{倍率错误时的电量}$ 。
(陈 楠)

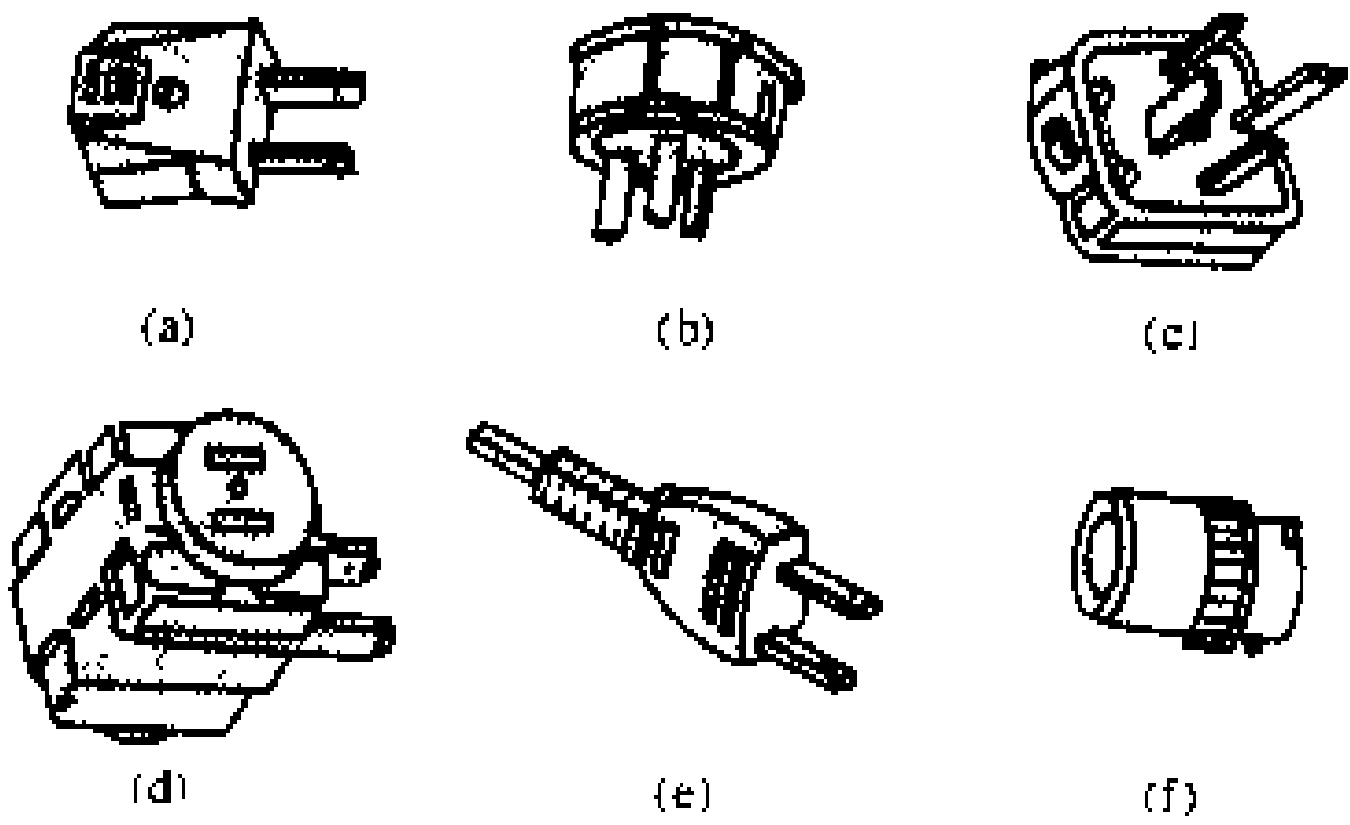
chatou

插头 (plug) 与插座配套使用的元器件。插头用于移动式低压小容量电气设备、仪器和家用电器等引接电源。

根据电源极数的不同，插头可分为单相两极式(相线、中性线)、单相三极式(相线、中性线、地线)、三相四极式(A、B、C三相线及中性线)。按照使用要求的不同，插头可分为插接式插头，即普通插头；分路式插头，用于分路引出及不同型式插销的转换；不可重接式插

头，即将电线与插头焊牢，与绝缘外壳制成不可拆卸的连接插头；引挂式插头，包括插口灯座插头，防水插头等。常用插头外形如图所示。

插头型式多样，结构各异，不同国家和地区有不同的要求和标准。中国生产的插头基本参数为：工作电压50、250、500V；最大工作电流三相式不超过25A，单



常用插头外形图

(a)单相两极式；(b)单相三极式；(c)三相四极式；(d)单相分路式；(e)不可重接式；(f)引挂式



相式不超过 15 A,并规定采用扁形插脚,圆脚插头已逐渐被淘汰。

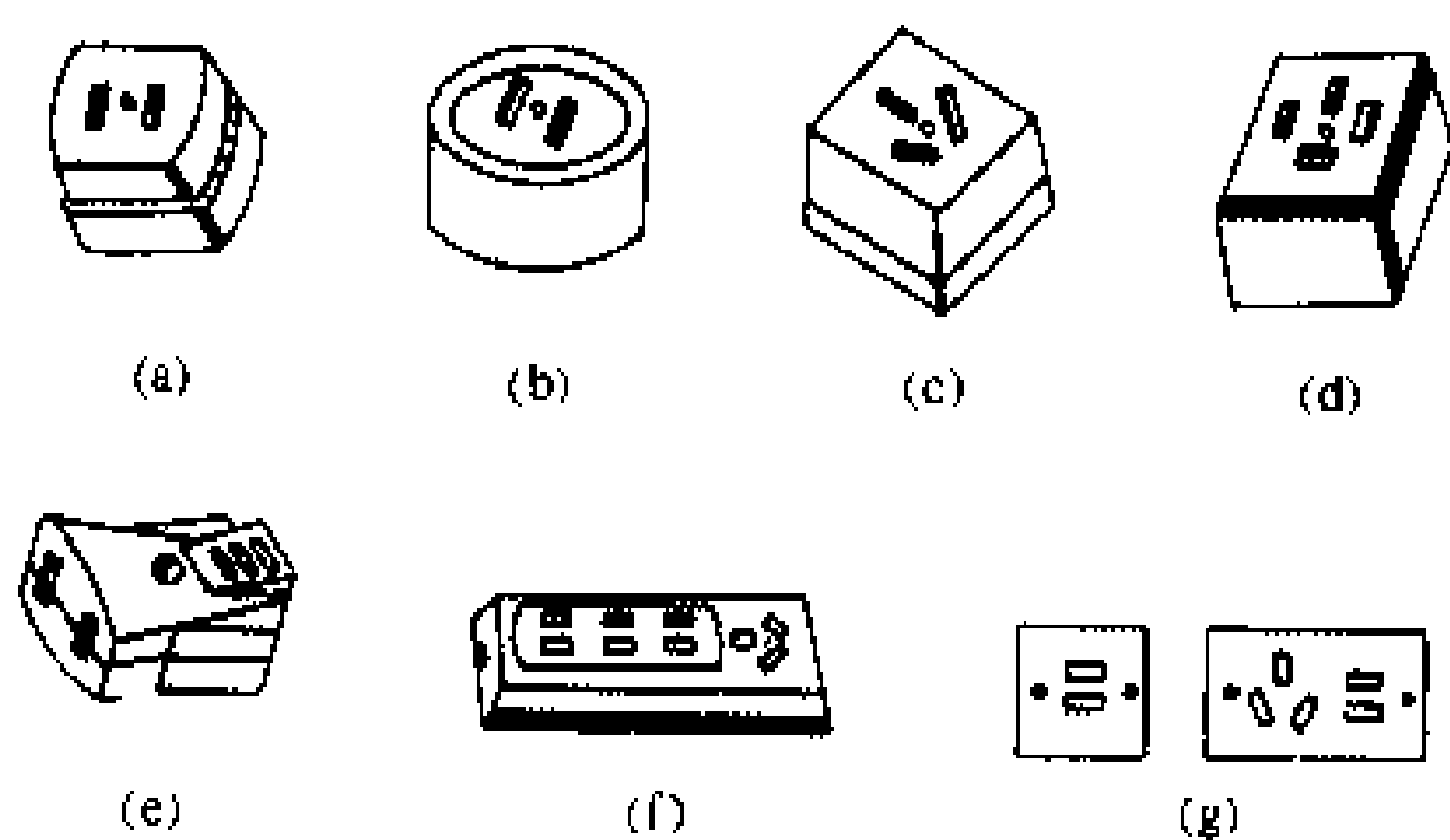
为了保证用电安全,除了有绝缘外壳及采用安全电压的用电器具可采用两极插头外,其他有金属外壳及可触及金属部件的电器都应采用有接地线的单相三极式插头。

(李朝阳)

chazuo

插座 (receptacle) 与插头连接,装在出线盒上供插接用的元器件。插座直接与电源相连接,安装在车间、试验室、办公室和居室的固定或移动的电气出线盒上,供各种低压电气设备、仪器、移动式低压小容量电器以及家用电器等引取电源,或兼作分路引接电源的连接器件。

插座分为单相两极式(相线、中性线)、单相三极式(相线、中性线、地线)、三相四极式(A、B、C 三相及中性线)。按使用条件和安装要求可分为移动式插座,即普通插座,必要时可临时挂在钉子上使用;固定装置式插座,包括明装式和暗装式(又称嵌入式插座)。按其功能又可分为线路连接插座,供临时延长导线长度;电源分路插座,可同时供 2~4 只插头引接电源分路线,供给小型用电设备,有的还附有开关,可分合电路;插销式转换插座,如用子插口灯头上的三通插销插座等。常用插座外形如图所示。



常用插座外形图

(a)矩形单相两极式;(b)圆形单相两极式;(c)三相三极式;(d)三相四极式;(e)移动式;(f)移动单相多路式;(g)固定式

插座型式虽多样,但其外壳多由陶瓷或塑料制成,带电零部件不外露,以保证安全用电。中国生产的插座的参数与插头配套,工作电压有 50, 250, 500 V 三种,最大工作电流三相式不超过 25 A,单相式不超过 15 A。插座多采用扁形插孔。

(李朝阳)

chanquan fenjie dian

产权分界点 (division point of property)

相互连接的供电设施的资产归属,在地理上或电气上划开的位置。划定产权分界点,不仅认定了供用双方对供电设施财产的拥有权,也明确了供用双方对供电设施承担维护管理和民事责任的范围,用以保障供用双方正当权益,保证供用电的安全,确认供电事故责任。

在中国,供电设施的产权分界点通常如下划分:

(1)低压用户,以用户接户线的最后支持物为分界点,最后支持物属供电企业。

(2)10 kV 及以下高压用户,以用户厂界外或配电室前的第一断路器或配电室进线套管为分界点,第一断路器或进线套管的维护管理责任由双方协商确定。

(3)35 kV 及以上高压用户,以用户厂界外或用户变电所外第一基电杆为分界点,第一基电杆属供电企业。

(4)采用电缆线路供电的用户,以供电点或受电点的电缆接线头为分界点。

(5)供电线路产权属于用户的,以公用供电线路上的分支点或公用变电所外第一基电杆为分界点,第一基电杆的维护管理责任由双方协商确定。

(徐纪法)

changwang zaozhiji diankang xitong

长网造纸机电控系统 (electric drive control system for paper machine) 用于实现长网造纸机正常运转的电力拖动及控制等电路组合的整体。

长网造纸机是连续地把纸浆变为纸张的机器。它由网部(由此而得名)、压榨部、干燥部、压光机、卷纸机等组成,其生产流程如图 1 所示。

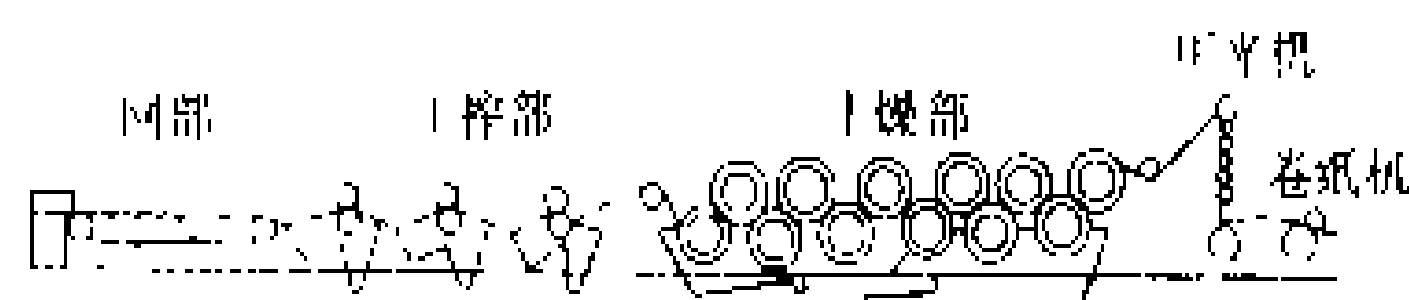


图 1 造纸机生产流程图

造纸生产工艺 造纸生产工艺要求长网造纸机能以多种速度作单方向电动运转。其速度调节比一般为 2~5。为使纸张均匀一致,要求造纸机的运行速度保持稳定,其稳速精度要求优于 0.1%~0.3%。这些指标为长网造纸机总的调速要求。

由于纸张在各个分部加工过程中可能伸长或缩短,要求各分部之间的速度差在一定范围内可调,一般为运行速度的±(5%~7%),并要求保持优于 0.1%~0.3%的精度。这些指标称之为分部间相对速度调速要求。

长网造纸机的传动方式分总轴传动和分部传动两类。总轴传动方式见图 2。其特征为设有与造纸机平行

安装的一根主轴，又称总轴。主轴由调速电动机传动。调节该电动机转速就能改变造纸机的总速度。各分部

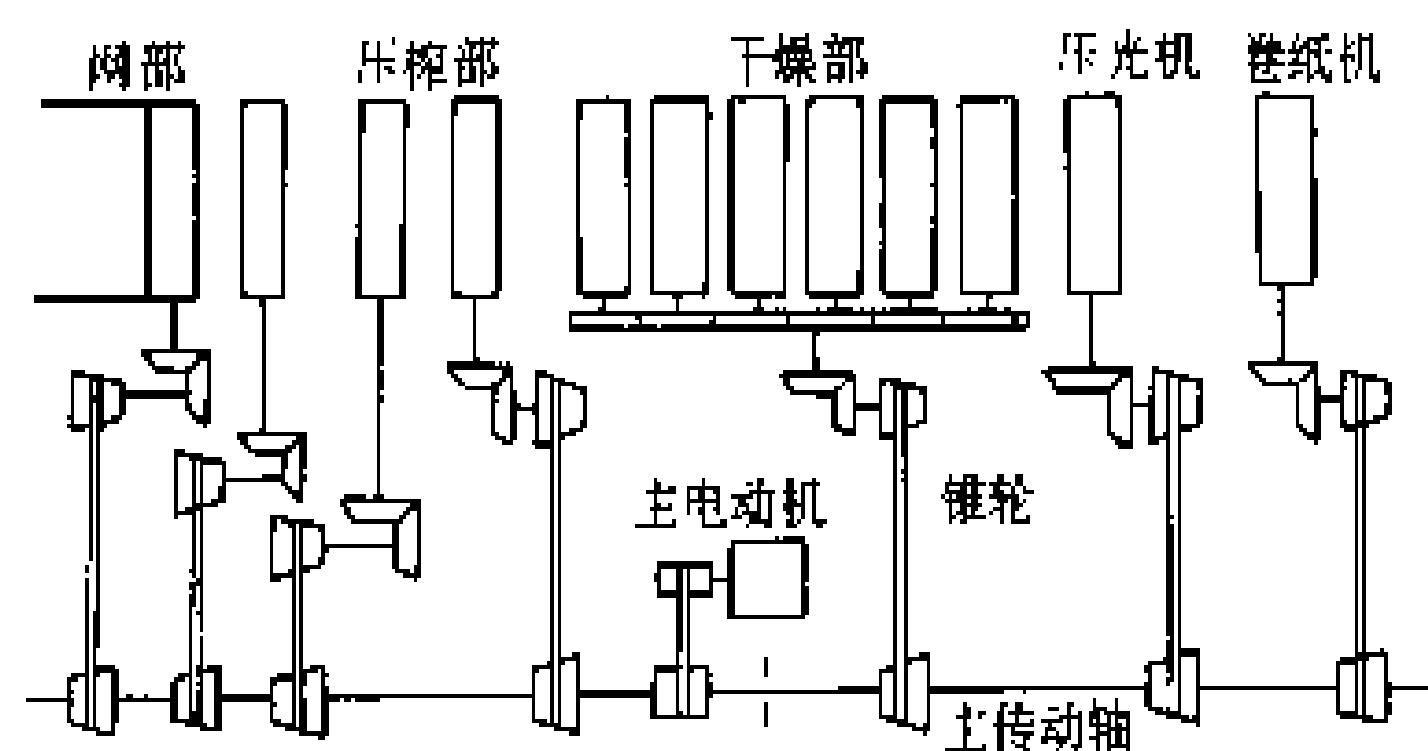


图2 采用锥轮的总轴传动方式

通过与主轴连接的锥形皮带轮或其他无级变速装置来传动，并进行分部间相对速度的调整。为方便各分部的起停，各分部都单独装有离合器。分部传动方式见图3。造纸机的每一独立分部都由一台电动机带动，每台电动机都有其独立的控制系统，其控制性能应满足上述总调速要求和各分部间相对速度的调速要求。

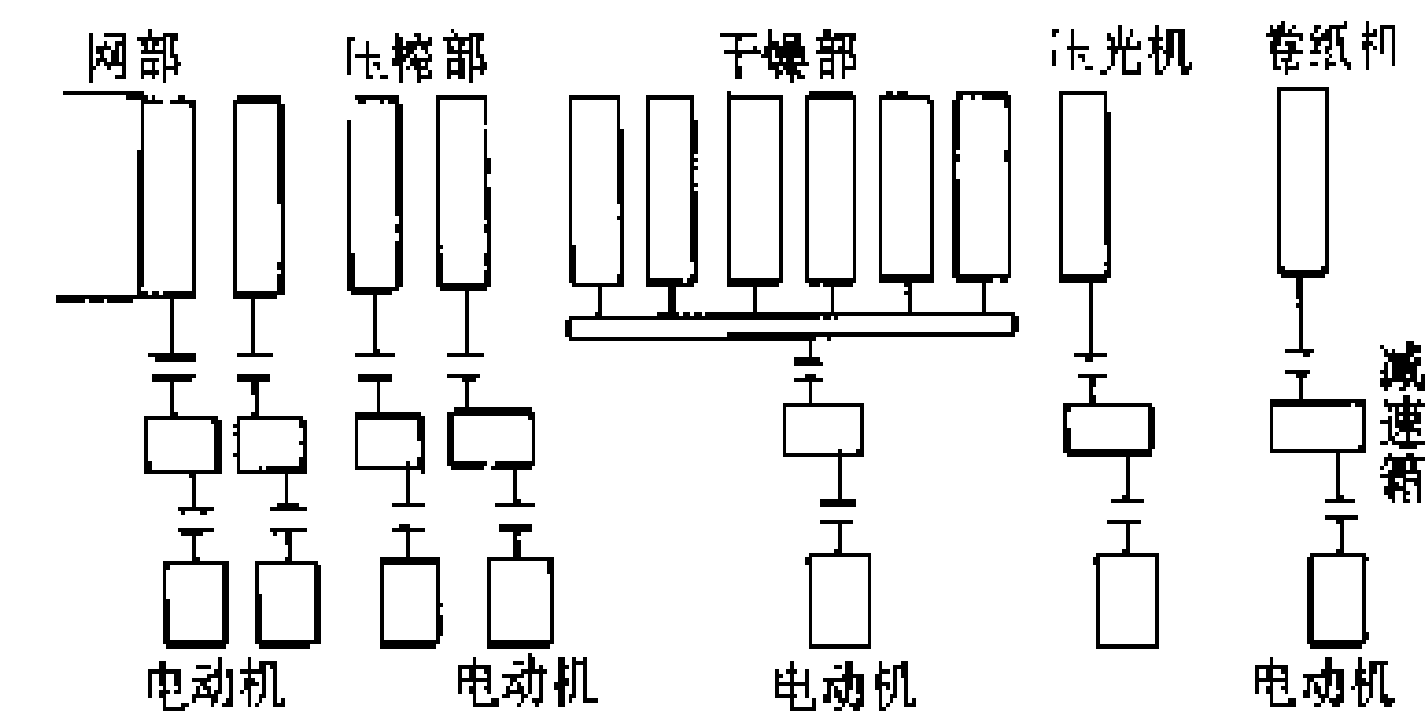


图3 多电动机分部传动方式

电控系统 长网造纸机电控系统包括直流传动与交流传动的电控系统。

长网造纸机用直流电动机-晶闸管调速电控系统典型框图见图4。影响造纸机速度稳定的主要因素为

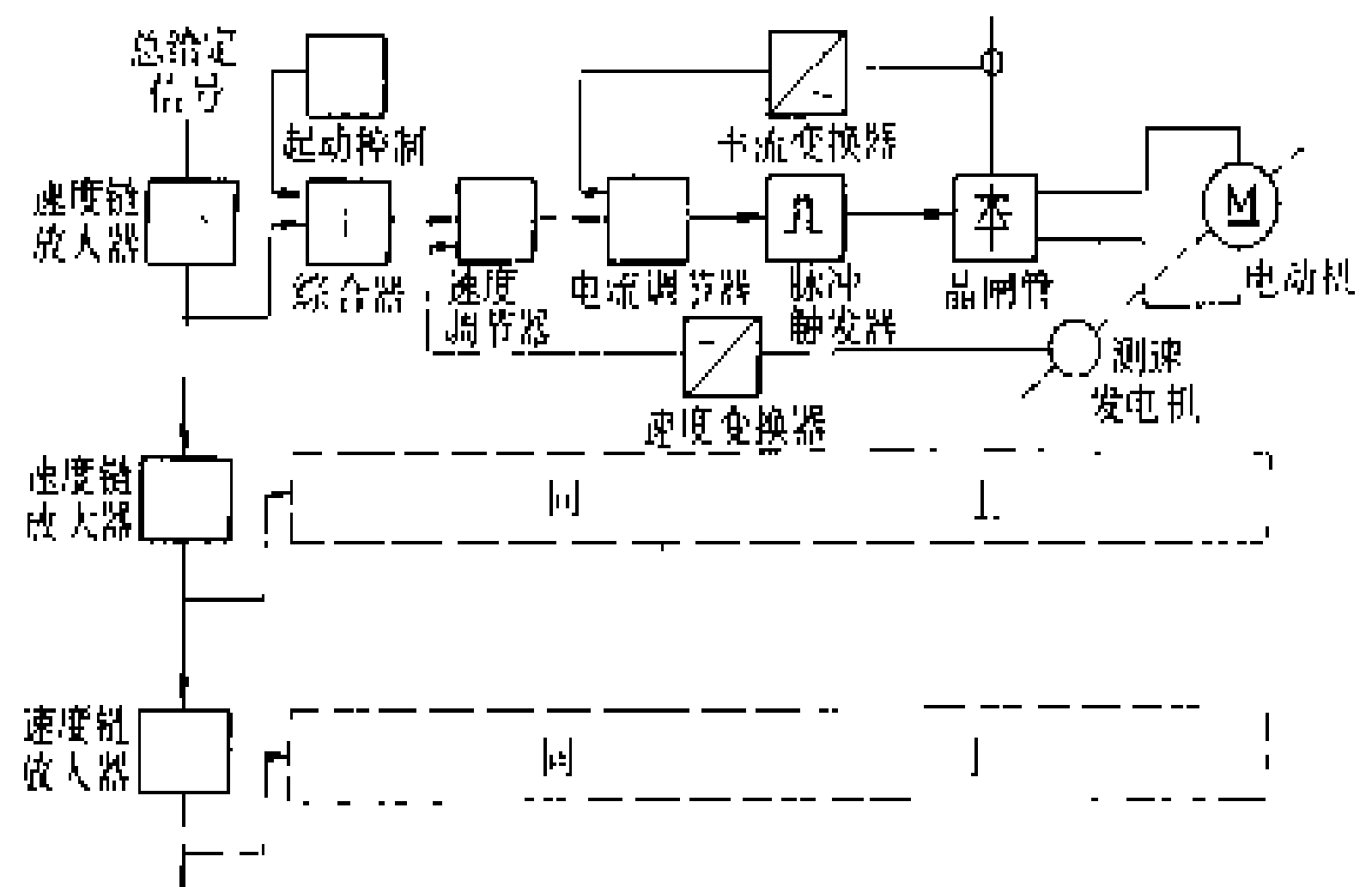


图4 分部传动长网造纸机用直流电动机-晶闸管调速电控系统典型框图

造纸机工艺参数变化，如网部的真空度，压榨部压力的变化以及电网电压的变化等。为此电控系统设计成转速负反馈(克服负载变化造成的转速变化)和电流负反馈(克服电网电压变化引起的电流变化)的双闭环控制系统。当造纸机工艺参数变化引起转速变化时，其变化

量通过转速调节器进行调节。当电网电压变化引起电流变化时，其变化量经电流调节器进行调节，最终将转速误差减到很小。(见晶闸管相位控制直流调速)

为保证造纸机的稳速精度，可选用高精度直流测速发电机或高精度交流测速发电机。在某些造纸机的电控系统中还采用了频率反馈控制或数字反馈控制(见转速频率控制与转速数字控制)。

交流电动机变频调速电控系统已用于长网造纸机上，且日益增多，形成了造纸机交流传动系统与造纸机直流传动系统相竞争的局面(见变频调速)。

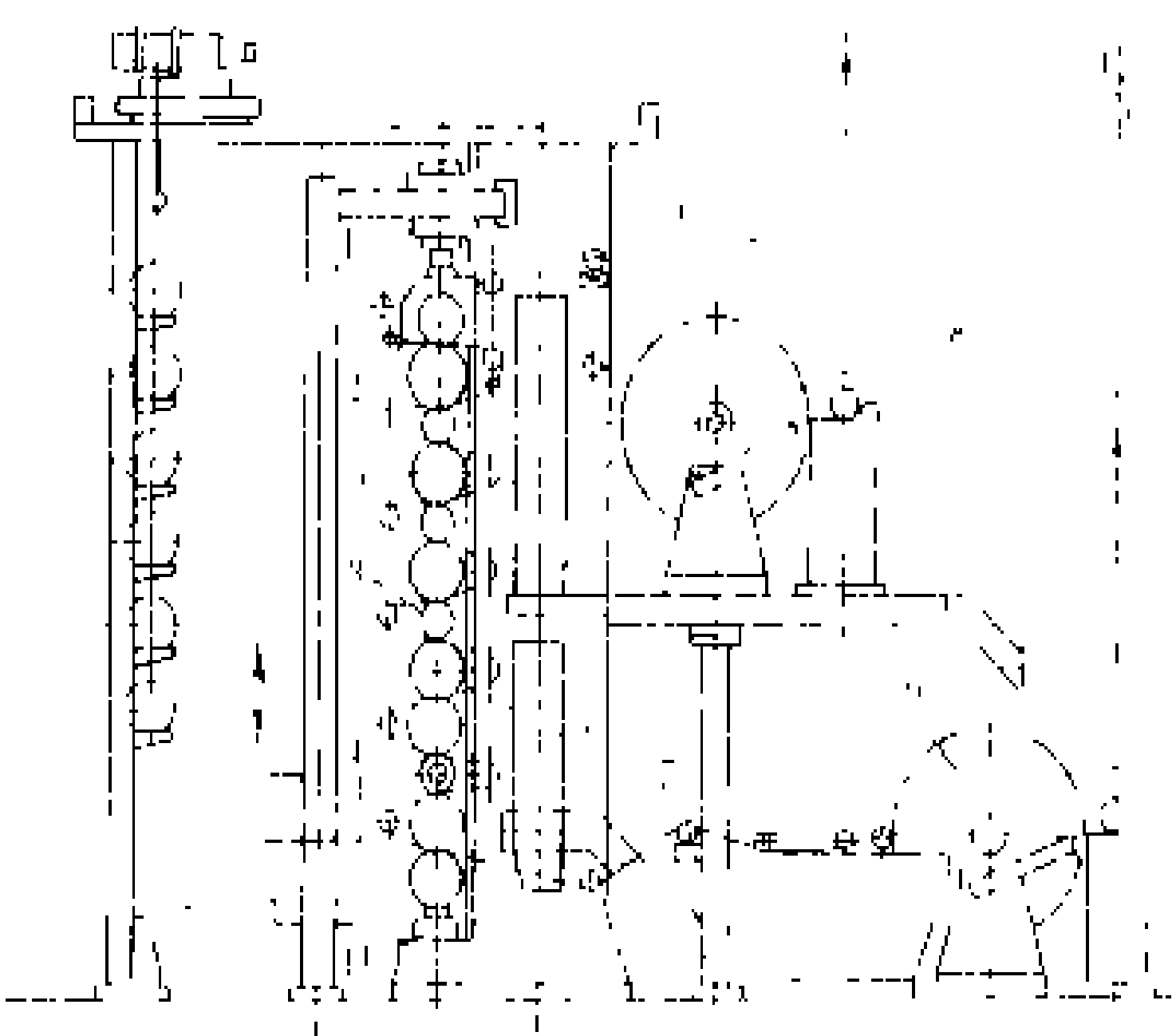
简史 长网造纸机电控系统，在20世纪80年代前大多采用直流电动机调速的电控系统。在40~50年代长网造纸机电控系统大多采用电动机-发电机组(总轴传动方式)和多电动机-多发电机组(分部传动方式)。采用旋转式电机扩大机作为中间放大器于发电机励磁或电动机励磁，并从测速发电机取得转速信号，再与给定电压比较组成转速闭环系统。50年代后期出现用磁放大器作中间放大的长网造纸机电控系统。60年代出现采用相位控制的直流电动机-晶闸管调速电控系统。该系统与电动机-发电机组调速系统相比，由于总效率明显提高，调节反应快，动态性能好，因而获得大量采用。在80年代开始出现采用交流电动机调速的电控系统。

(吴国庆)

chaoji yaguangji diankong xitong

超级压光机电控系统 (electric drive control system for supercalender)

用于实现超级压光机正常运转的电力拖动及控制等电路组合的整体。超级压光机的辊系统如图所示，由金属辊和纸辊交替



超级压光机的辊系统

- 1—顶辊；2—纸粕辊；3—金属中间辊；4—主传动；5—底辊；6—放纸张力测量辊；7—卷纸张力测量辊；8—放纸辊；9—卷纸辊；10—上油压缸；11—下油压缸

堆叠而成。纸幅自顶辊在逐渐增加压力的情况下从各辊间通过,从而达到提高光泽度,平滑度、紧度和厚度一致性的效果。超级压光机的主要技术指标包括幅宽、车速及其加减速、辊数、线压力、纸辊的性能和纸轴直径比。

超级压光机电控系统包括:全机作业控制单元和电力拖动单元,在现代化的超级压光机上还包括以微机系统为核心的过程控制单元。中心操作台的操作指令通过全机作业控制单元对电力拖动单元、液压系统以及各种检测装置发出执行操作的信号,以准确地完成引纸、升速、断纸急停、辊筒快速分离、快速换辊等作业以及张力、辊面温度、纸张水分、平滑度等参数的测量与反馈。

超级压光机的电控系统,包括主传动、放纸控制和卷纸传动。主传动和卷纸传动大都采用直流电动机。对于幅度小、车速低的机器,放纸控制多采用摩擦制动器或磁粉制动器;对于大型宽幅机器则采用制动发电机。幅宽在 1760 mm 以上、车速在 400 m/min 以上的超级压光机通常配备性能优良的电力拖动控制系统。主传动是双闭环速度控制、用磁场反接实现快速制动。放纸控制采用磁粉制动器,引纸时工作在电流控制状态,运行时自动切换到张力控制状态。卷纸传动在未带纸时是速度控制结构,带纸后(卷取时)速度调节器饱和,由张力电流运算单元提供张力电流给定值,直接测量的张力值与张力给定值比较通过张力调节器参与卷取张力的复合控制。

世界上已经有幅宽 8650 mm 的超级压光机在运行,超级压光机的工作车速达到 800~1000 m/min。以微机系统为核心的过程控制单元参与对辊系统压力、纸粕辊的表面温度、压区加热系统、成纸水分和平滑度等各种相互关联的参数进行在线控制。

(田 虎)

chengshi dianche yongdian

城市电车用电 (electrical energy utilization of trolleybus)

城市电车包括有轨电车和无轨电车,是大中城市市政公用设施的重要组成部分,具有运量大、速度快、运行费用低、不消耗贵重燃料的特点。城市人口密集,流动频繁,解决市内交通有多种方式。城市电车一次投资比地下铁道小,比公共汽车大;运行费用则与上述相反;对大气无污染;但有轨电车噪声大且影响市区道路交通。由于各种交通工具各具特色,因此多为几种交通工具并用,除小城镇全部用公共汽车外,大、中城市多以公共汽、电车并用,现代化大城市以地下铁道为市内交通骨干,以公共汽、电车为辅助。

1879 年世界上第一条城市电车在德国投入运行。

城市电车以直流电动机驱动,由城市电网通过地区换流站架设 500~600 V 专用直流线路向城市电车供电。早期换流站以交流电动机拖动直流发电机供电,近多多以晶闸管整流器供电,因而对电力系统造成谐波污染,需要加以防治(见整流器谐波)。

由于市内交通与城市经济、文化生活息息相关,城市电车一旦中断供电将造成城市秩序严重混乱,应按一级负荷(见用电负荷级别)安排供电。又由于城市后夜客流量少,一般后夜电车停止开动,故城市电车用电负荷率较低,高峰负荷主要集中在上、下班时间,行车耗电 0.85~1.25 kW·h/(车·km),采用晶闸管斩波调速(见斩波控制直流调速)可节约电能。

(顾嘉来)

chengshi geishui sheshi yongdian

城市给水设施用电 (electrical energy utilization of town water supply facilities)

城市给水设施又称自来水设施,是供应城市生产和生活用水的设施,属于市政公用设施。它通常由水源、输水管渠、水厂和配水管网组成。用电设备主要是由电动机拖动的水泵。用水泵从水源抽取原水经输水管渠送至水厂,原水在水厂中经水质处理达到饮用水标准后,再由设在水厂中的配水泵送出经配水管网送至用户,成为城市居民生活和其他各类活动用的自来水。(见市政公用设施用电)

城市给水设施的用电量与城市人口及人均日综合用水量有直接关系,而人均日综合用水量因城市的大小、经济的发展程度、气候和水资源条件等因素的不同又有很大差异。发达国家人均日综合用水量达 400~600 L,甚至更高。发展中国家,有的城市人均日综合用水量只有几十升。中国经济条件较差的中、小城市及水资源缺乏的城市,人均日综合用水量不足 100 L 乃至几十升;而一些大城市特别是经济发达的城市人均日综合用水量可达 400~500 L,甚至更高。人均综合用水量及与之相对应的耗电量,会随城市的经济发展而增加;而发展中国家的城市,特别是建设发展速度比较快的城市,其给水设施用电量的增幅将更为突出。

水是居民生活的必需品,城市给水一旦中断将严重影响居民生活和社会安定。城市给水设施中的骨干水源地、原水泵、水厂,应作为一级用电负荷,由两个或两个以上独立电源供电。(见用电负荷级别)

给水设施用电 包括原水输送用电和水厂用电两部分。

原水输送用电 由水源至水厂的原水输送系统的用电量,因水源和水厂之间的距离、高程差的不同而

有较大差异。水源水位越低,离城市越远,输水系统的用电量越大。随着可供城市利用的水源越来越远,输水系统的用电量将增大。自来水的耗电量也必然随之增大。

水厂用电 可分为配水泵用电和水质处理设备(包括辅助设备)用电。配水泵用电量一般可占水厂总用电量的90%左右。以地下水为水源的水厂一般只做消毒处理,其水质处理设备用电量只占水厂用电量的百分之几;以地面水为水源的水质处理包括混凝、澄清、过滤、消毒等工序,其用电量占水厂用电量的10%~15%。由于水源污染和对饮用水水质要求越来越高,在上述常规处理的基础上,水质的深度处理如臭氧处理和活性炭过滤等在西欧各国、日本等发达国家正越来越多地采用。在中国的北京、上海等城市已采用臭氧和活性炭过滤处理,使水质处理的耗电量成倍增加,尤以臭氧处理的耗电量最为突出,一般要增加用电量 $0.04\sim 0.06\text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ 。此外,水厂水质处理过程中产生的污泥,一些发达国家如日本、西欧各国和美国等,已进行脱水干化处理,但发展中国家还没有进行处理,而随污水排放。随着环境保护的要求日益严格,水厂污泥处理设施作为水厂水质处理的附属设施将日益增多,也必然使水厂用电量和单耗增加。

用电特点 用电负荷变化大和自然功率因数较低是城市给水设施用电具有的特点。

用电负荷变化大 给水设施用电的特点之一是年内的日变化和日内的时变化较大。夏季因用水量,日用电量也大,冬季则相反;1天之内每小时的用电量也不同,白天用电多,夜间用电少,主要是由配水泵用电变化引起的,其变化幅度与城市大小、工业化程度、气候条件有关。一般年用电负荷率约为0.75~0.95,日用电负荷率约为0.70~0.95。

自然功率因数较低 给水设施的直接用电对象主要是拖动水泵、风机等设备的异步电动机,自然功率因数较低,多采用电容器补偿方式将功率因数提高到0.90~0.95以上,也有的采用同步电动机来提高功率因数。

节约用电 城市给水设施水泵的扬程和流量是按一年中最高日供水量,甚至是按最高日最高小时供水量(主要是配水泵)选择的,一年的大部分时间里由于供水量均较小,需要的扬程也随之大幅度减小,使水泵偏离高效工作区而处于低效率的工作状态,从而浪费了大量电能。为此一些发达国家采用电机调速方法,提高水泵的工作效率。中国自1970年开始采用电机调速方法,80年代以来发展速度较快,如选配得当可以节约电能10%~20%乃至更多。

(高士国)

chengshi paishui sheshi yongdian

城市排水设施用电 (electrical energy utilization of town sewerage facilities)

城市排水设施是收集、处理与排除城市污水和雨水的工程设施,属于市政公用设施。它通常由收集、排除雨污水的下水道系统和污水处理厂组成。雨污水一般靠自重由下水道系统排入江河湖海等水体;有些城市下水道受地形限制或埋设较深不能靠雨污水自重排入江河湖海等水体时,需要在中途或终点设置提升泵站把雨污水抽升上来。下水道系统的用电设备主要是提升泵站用电动机。其中雨水提升泵站只在雨季运行,属季节性用电负荷,污水提升泵站则常年运行。

城市污水处理厂的功能是对城市污水进行净化,使之达到排放标准以保护环境和江河湖海等水体。污水处理厂用电设备主要是污水抽升水泵用电动机和处理设备(包括辅助处理设备)。进入污水处理厂的污水干管一般都埋得较深,需要由水泵将污水抽升至地面再送入污水处理设施。污水处理依其对污水净化程度的不同分为一级、二级和三级。一级处理主要去除污水中可以靠自重自然沉淀下来的固体杂质,如泥沙、食物、粪便残渣,其用电设备为清除沉淀物的除砂机和刮泥机,一般用电量很少,只占全厂用电量的百分之几。用电量的80%~90%是污水抽升水泵用电。二级处理除采用沉淀办法外,一般采用曝气工艺,去除污水中溶解性的有机污染质。曝气是用鼓风机向污水中鼓气,使空气中的氧溶于污水中,并借助于好氧细菌的活动把污水中溶解性有机污染质氧化分解,达到净化污水满足排放要求的目的。曝气工艺用电量占二级处理厂用电量的80%~90%。三级处理一般是在二级处理的基础上增加砂滤池过滤,有更高要求时可用臭氧和活性炭过滤,进一步去除水中污染物,达到可以再回用的目的。由于三级处理设施的建造费用很高,一些水资源短缺、经济发达的国家和地方才采用,如美国加利福尼亚州南部的洛杉矶、日本的东京以及中国的北京、大连等缺水城市已建造了三级污水处理厂。

世界上的发达国家在20世纪60~70年代为治理污水造成的水体和环境的污染,兴建了大量污水处理厂。据1985年统计,发达国家的污水处理率大都达到50%以上,如加拿大为49%,奥地利50%,美国74%,英国79.2%,联邦德国81%,瑞士90%,且绝大部分为二级处理。至1990年,中国已建成污水处理厂80座,日污水处理能力占中国城市日污水量的3.44%。污水处理率低的国家,随着社会和经济的发展,治理污染的意识也普遍提高,城市排水设施必将大量兴建,其用电量将随之大幅度增加。

城市排水设施用电负荷一年内日变化和一天内时

变化较大。夏季因排水量大,日用电量也大,冬季则相反;一天之内白天负荷大,夜间负荷小。其变化幅度与城市大小、工业化程度、气候条件等有关。城市排水设施自然功率因数为 0.8~0.9,大都采用电容器补偿,以提高功率因数。

(高士国)

chongji dianzuan

冲击电钻 (electric impact drill) 通过旋转运动和冲击作用进行钻孔的电动工具。冲击电钻用于对砖、砌块及轻质混凝土等建筑材料进行钻孔,一般制成两用式结构。当调节在旋转无冲击位置时,装上普通麻花钻,则与电钻相同,能在金属上钻孔;当调节在旋转带冲击位置时,装上镶有硬质合金的钻头,依靠操作者的推力,借助冲击机构产生的冲击力,能在砖、砌块及轻质混凝土等脆性材料上钻孔。

冲击电钻由电动机、冲击结构、机壳和手柄等组成,并配装有辅助手柄、钻孔深度定位器和夹持钻头的钻头夹。钻头夹与主轴用螺纹连接。

冲击结构为一对齿形离合器,见图。离合器的犬牙齿数关系着冲击频率的大小。当输出转矩为定值时,冲击频率越高越好。冲击频率是减速后的主轴转速与犬牙齿数的乘积。

1—钻轴; 2—调节环; 3—离合器运动件; 4—离合器静止件; 5—机壳

家用冲击电钻一般为Ⅱ类工具,操作时冲击压力不宜过大。过大,不仅会降低冲击频率,还会引起过载而造成工具损坏。对 10、12 mm 规格的冲击电钻,轴向进给力应为 150~220 N;对 16、20 mm 规格的冲击电钻,轴向进给力为 250~300 N。冲击电钻选用单相串励电动机,额定输入功率为 280~570 W。

见家用电动工具。

(李邦协)

chongji fuhe

冲击负荷 (impact load) 运行中的用电设备突然短时间从电力系统取用的很大的功率。一般冲击负荷出现的时间很短,但其峰值可能是其平均值的数倍甚至数十倍,引起电力系统的频率波动、公共供电点的电压波动、灯光闪烁、电视机图像畸变,有时电压陡降还会影响电网自动装置的正常工作。其中周期性

冲击负荷还会造成闪变。

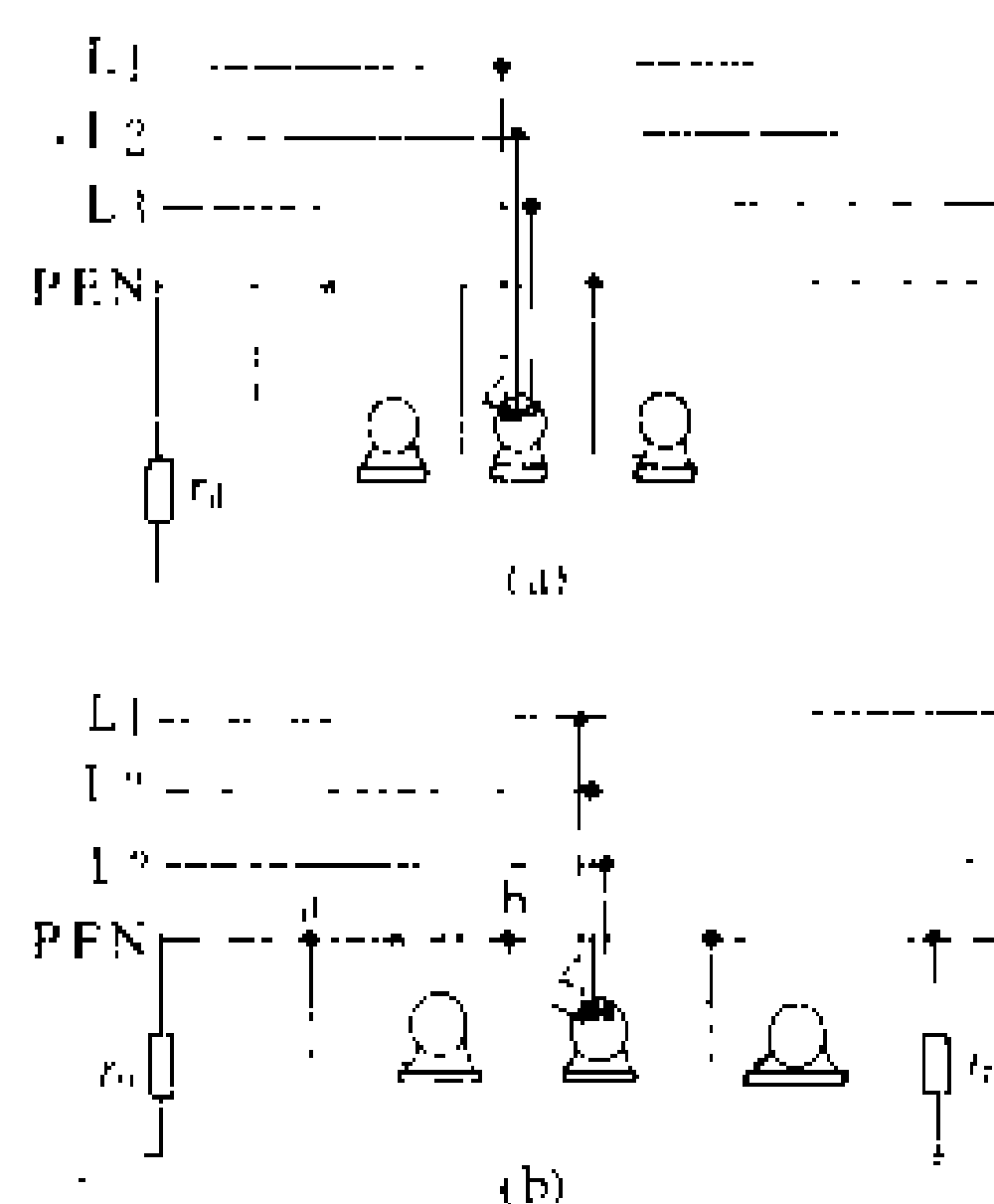
引起冲击负荷的常见用电设备有炼钢电弧炉、电力机车、电焊机等。冲击负荷出现时间为炼钢电弧炉熔化期、电力机车爬坡期间、压延机在坯料送入轧辊期间、电焊机引弧期间等。由于主要产生冲击负荷的用电设备大多用电功率因数较低,因此冲击负荷对无功功率的影响尤为严重。

消除冲击负荷对电力系统影响的主要措施有加大电力系统短路容量,采用快速调节的无功补偿装置,对产生冲击负荷的用电设备提高供电电压等级、采取专线供电等。

(王秉宗)

chongfu jiedi

重复接地 (iterative earth) 中性线和保护线的公用线 (PEN 线) 或保护线 (PE 线) 每隔一定距离的接地。重复接地可以降低 PE 或 PEN 线断线或电气设备短路时,电气设备的对地电压,从而减少触电危险。此外,重复接地还有减小中性点偏移而引起的三相电压不平衡的作用。图 (a) 为无重复接地的低压配电系统示意图。图中 PEN 线 (或 PE 线) 断裂且断裂点



低压配电系统示意图

(a) 无重复接地; (b) 有重复接地

[见图 (b)], PEN 线 (或 PE 线) 的断裂点前后电气设备外壳上的对地电压分别为

$$U_a = \frac{U_p}{r_0 + r_n}, \quad U_b = \frac{U_p}{r_0 + r_n}$$

设 $r_0 = r_n$, $U_a = U_b = \frac{1}{2}U_p$, 即所有电气设备外壳上的对地电压由 U_p 降至 $\frac{1}{2}U_p$ 。可见重复接地可以在故障时降低电气设备的对地电压。

中国规定,重复接地的接地电阻应小于 10 Ω 。IEC 标准中则推荐等电位接地,即如有其他有效接地体时,保护线应合理地、尽可能地与这些接地体相连接,以形

成与地电位接近的等电位。

(苏文成)

chudian jifu

触电急救 (shock firstaid) 对发生触电事故者进行的抢救。人体触电后, 会遭致严重的病理损害, 触电时间越长, 危险性越大。当通过人体电流达 100 mA 以上时, 立即可使心脏停止跳动和呼吸停止, 呈现昏迷不醒的“假死状态”, 进行迅速而正确的抢救, 可使触电者得救。抢救效果随丧失抢救时间的延长而迅速下降。抢救开始时间小于 1 min, 复苏效果达 60%; 若抢救开始时间大于 12 min, 复苏的效果很小。

发生触电事故后, 首先应立即使触电者脱离电源, 越快越好。脱离电源是指要把触电者接触的那一部分带电设备的开关、刀闸或其他断路设备断开, 或设法将触电者与带电设备脱离。触电者脱离电源后必须分秒必争, 立即就地迅速用心肺复苏法进行抢救, 并坚持不断地进行, 同时及早与医疗部门联系, 争取医务人员接替救治。在医务人员未接替救治前, 不应放弃现场抢救, 更不能只根据没有呼吸或脉搏擅自判定伤员死亡。

现场触电抢救, 对采用肾上腺素等药物应持慎重态度。如没有必要的诊断设备条件和足够的把握, 不得乱用。在医院内抢救触电者时, 由医务人员经医疗仪器设备诊断, 根据诊断结果决定是否采用。

脱离电源 脱离电源的方法:

(1) 触电者触及低压带电设备, 救护人员应设法迅速切断电源, 如拉开电源开关或刀闸, 拔除电源插头等; 或使用绝缘工具、干燥的木棒、木板、绳索等不导电的东西解脱触电者; 也可抓住触电者干燥而不贴身的衣服, 将其拖开, 切记要避免碰到金属物体和触电者的裸露身躯; 也可戴绝缘手套或将手用干燥衣物等包起绝缘后解脱触电者; 救护人员也可站在绝缘垫上或干木板上, 绝缘自己进行救护。

为使触电者与导电体解脱, 最好用一只手进行。

如果电流通过触电者入地, 并且触电者紧握电线, 可设法用干木板塞到身下, 与地隔离, 也可用干木把斧子或有绝缘柄的钳子等将电线剪断。剪断电线要分相, 一根一根地剪断, 并尽可能站在绝缘物体或干木板上。

(2) 触电者触及高压带电设备, 救护人员应迅速切断电源, 或用适合该电压等级的绝缘工具 (戴绝缘手套、穿绝缘靴并用绝缘棒) 解脱触电者。救护人员在抢救过程中应注意保持自身与周围带电部分必要的安全距离。

(3) 如果触电发生在架空线杆塔上, 如系低压带电线路, 若可能立即切断线路电源的, 应迅速切断电源, 或者由救护人员迅速登杆, 束好自己的安全皮带后, 用

带绝缘胶柄的钢丝钳、干燥的不导电物体或绝缘物体将触电者拉离电源; 如系高压带电线路, 又不可能迅速切断电源开关的, 可采用抛挂足够截面的适当长度的金属短路线方法, 使电源开关跳闸。抛挂前, 将短路线一端固定在铁塔或接地引下线上, 另一端系重物, 但抛掷短路线时, 应注意防止电弧伤人或断线危及人员安全。不论是何级电压线路上触电, 救护人员在使触电者脱离电源时要注意防止发生高处坠落的可能和再次触及其它有电线路的可能。

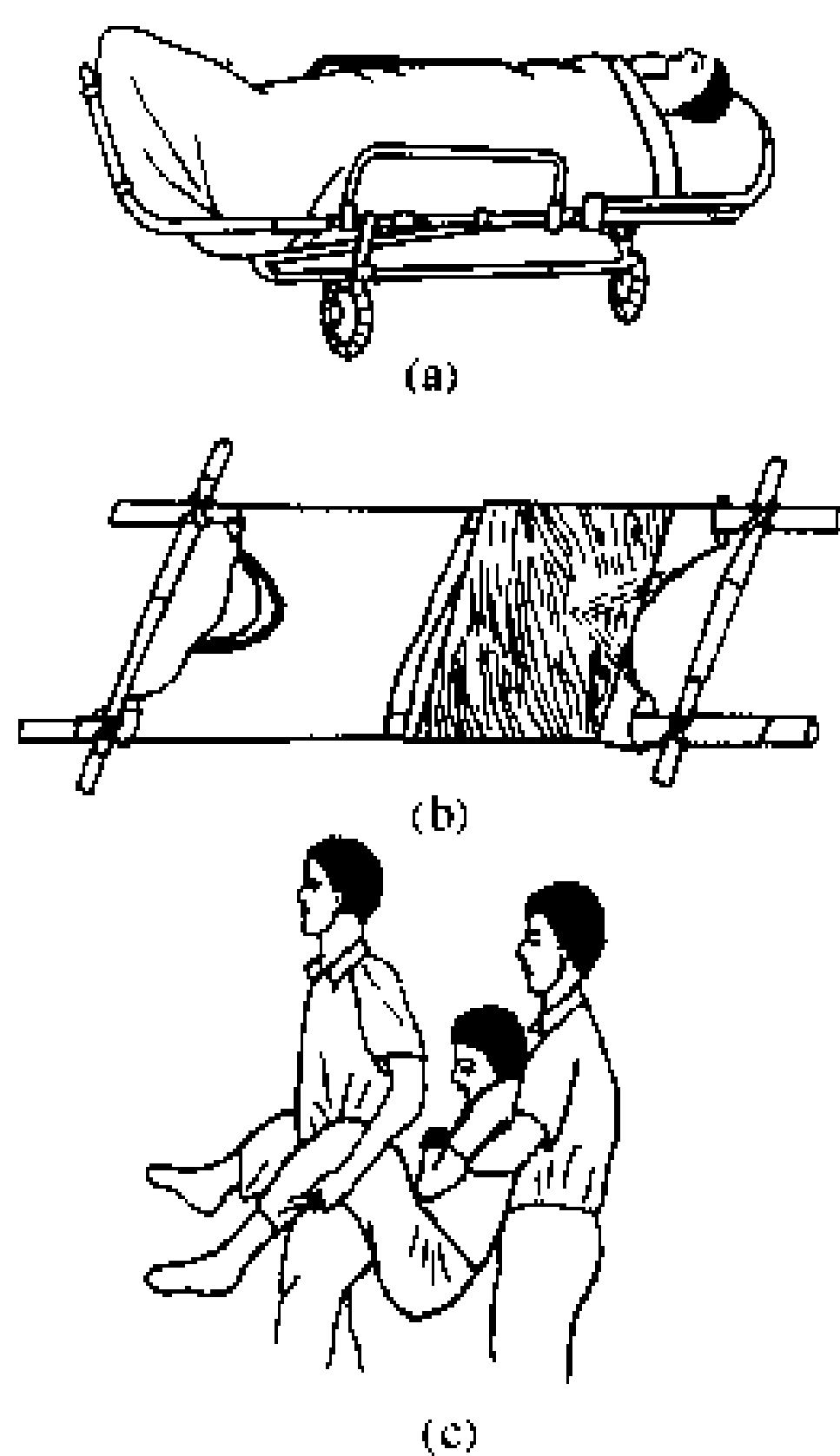
(4) 如果触电者触及断落在地上的带电高压导线, 且尚未确实证明线路无电, 救护人员在未做好安全措施 (如穿绝缘靴或临时双脚并紧跳跃地接近触电者) 前, 不能接近断线点至 8~10 m 范围内, 防止跨步电压伤人。触电者脱离带电导线后亦应迅速带至 8~10 m 以外后立即开始触电急救。只有在确实证明线路已经无电, 才可在触电者离开触电导线后, 立即就地进行急救。

脱离电源后的处理 ①触电伤员如神志清醒者, 应使其就地躺平, 严密观察, 暂时不要站立或走动。②触电伤员如神志不清者, 应就地仰面躺平, 且确保气道通畅, 并用 5 s 时间, 呼叫伤员或轻拍其肩部, 以判定伤员是否意识丧失。禁止摇动伤员头部呼叫伤员。③触电伤员呼吸和心跳停止时, 应立即按心肺复苏法 (即通畅气道; 口对口或口对鼻人口呼吸; 胸外接压) 正确进行就地抢救, 并设法联系医疗部门接替救治。

抢救过程中伤员的移动与转院 主要事项有:

(1) 心肺复苏应在现场就地坚持进行, 不要为方便而随意移动伤员, 如确有需要移动时, 抢救中断时间不应超过 30 s。

(2) 移动伤员或将伤员送医院时, 除应使伤员平躺在担架上并在其背部垫以平硬阔木板 (见图) 外, 移动或送医院过程中应继续抢救, 心跳呼吸停止者要继续心肺复苏法抢救, 在医务人员未接替救治前不能中止。



搬运伤员

(a) 正常担架; (b) 临时担架或木板; (c) 错误搬运



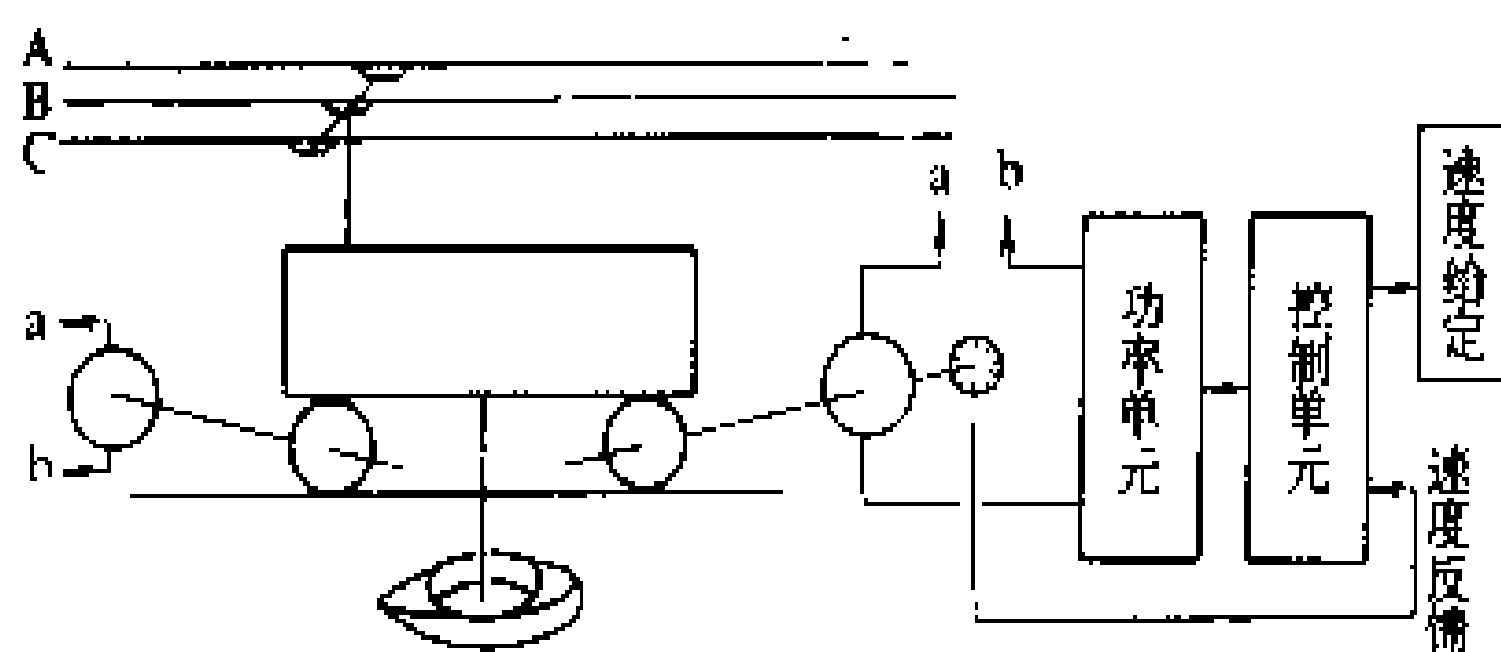
(3) 创造条件,用塑料袋装入砸碎的冰屑,作成帽状包绕在伤员头部,露出眼睛,使脑部温度降低,争取心肺脑完全复苏。

伤员好转后的处理 如伤员的心跳和呼吸经抢救后均已恢复,可暂停心肺复苏法操作。但心跳呼吸恢复的早期有可能再次骤停,应严密监护,不能麻痹,要随时准备再次抢救。初期恢复后,神志不清或精神恍惚、躁动,应设法使伤员安静。

(陈金盛)

chuanmo tuoche diankong xitong

船模拖车电控系统 (electric drive control system of towing carriage for ship model basin) 用于实现船模拖车正常运动的电力拖动及控制等电路组合的整体。船模拖车是测试船舶模型水动力学方面的试验装置,一般用2台或4台直流电动机拖动,对于重达数十吨的大型船模拖车,由4台100 kW以上的电动机拖动。拖车牵引着船模在拖曳水池(有的水池中装有造波机,在水面上形成波浪)两侧壁的轨道上行驶,使船模模仿船舶在水中航行(见图)。人们依据船模航行试验中所测得之数据来分析船舶设计的优劣。



船模拖车电控系统示意图

船舶在水中行驶并不总是直线航行,常为曲线状行驶,还常上下颠簸。为此,先进的船模拖车电控系统可使船模进行 x 、 y 、 z 三维空间运行试验,采用微机更易于三维空间操纵。实用的电控系统中通常 x 轴方向为速度控制, y 、 z 轴方向为位置控制。

大惯量、小阻力是船模拖车负载的特点。船模水动力学试验数据准确度与其控制系统的速度稳定精度紧密相关。为此,要求电控系统稳速精度高达0.02%,速度给定准确、重复性好,调速比为50~100。为了获取尽可能长的测试区段,要求电控系统起动、制动及其过渡过程的行程距离短,拖车加、减速度为0.01~0.1 g。为此,电控系统中设有控制起动电流环节,来改变拖车加速度;减速制动时将能量回馈电网。为了安全,另设有机机械刹车装置,用油压制动器时拖车的减速度可达0.4 g。

船模拖车电控系统可分为模拟稳速控制系统与数

字模拟混合控制系统。

(1) 模拟稳速控制系统。该系统将测速发电机电压与速度给定电压比较后,其差值送入调节器放大,用以控制直流电机的励磁或变流装置的栅控角(见转速模拟控制)。

(2) 数字模拟混合控制系统。该系统将脉冲发生器测得的速度值(或频率值)与速度给定值(或频率给定值)比较后,其差值经运算、变换后,再控制晶闸管的触发角(见转速数字控制)。该系统具有模拟稳速控制系统的动态品质,稳速精度优于 $\pm 0.01\%$ 。速度给定数字化、频率化,提高了给定精度,并且速度给定重复性好。

早在18世纪末英国就建造了船模拖车,其速度为0.5~100 gt/min,用蒸汽机作为动力装置。20世纪初世界各国也开始建造船模拖车,如日本船舶技术研究所1927年建造的船模拖车,其电动机由电动发电机组供电。50年代中国开始建造船模拖车。50年代前后,拖车电动机由电动发电机组或汞弧整流器变流装置供电,采用模拟稳速控制系统。60年代后,晶闸管变流装置取代了电动发电机组和汞弧整流器,半导体放大器取代了电子管放大器,脉冲发生器取代了测速发电机,特别是大规模固体组件的出现,使数字模拟混合控制系统应运而生。70年代后,一些电控系统还设有调速装置的自诊断功能;微机控制系统可实时处理船模试验数据,使电控系统和船模试验数据运算、分析融为一体,试验完毕,船模数据也处理完毕,省时、省工,提高了工作效率。

(吴经琦)

cidao luyinji

磁带录音机 (tape recorder) 一种以磁带为载体,记录声音信号的音响设备。录音机是以硬磁性材料为载体,利用磁性材料的剩磁特性把声音信号记录在载体上的。磁带录音机的磁性记录信号具有易于记忆、易于剪辑、便于长期储存、能多次重放或抹音重录等优点,广泛用于广播、科研、生产和日常生活中。

磁带录音机的发展与录音磁带的发展密切相关。20世纪20年代发明了纸基磁带。1935年,德国通用电器公司制成了最早的磁带录音机。40~50年代,发明了塑料带基磁带并获得广泛应用。60~70年代,磁粉的研究取得了很大进步,相继出现了铬带、钴带、铁铬带。70年代后期又开发出金属带基磁带。

磁带录音机最常用的是铁带,又称普通带,在塑料基上涂以 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 磁粉制成。使用的磁带不同,对录音机磁头的要求也不同。

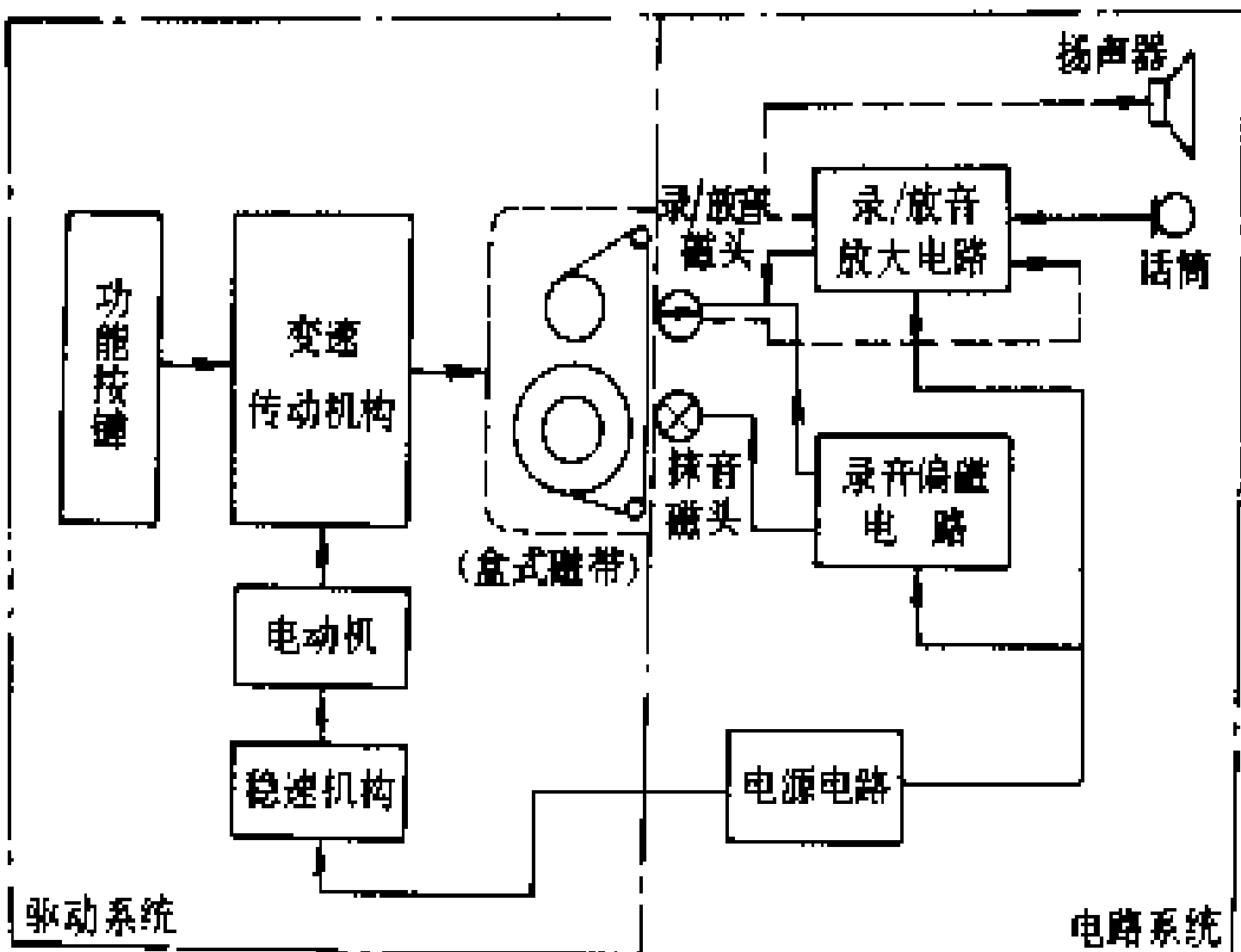
1888年美国O. 史密斯(Oberlin Smith)发表了利



用剩磁录音的论文，奠定了录音机的理论基础。1953年和1957年，中国上海钟声电工社先后制成中国第一台磁带录音机和钢丝录音机。1963年，荷兰飞利浦公司发明了盒式磁带，从此盒式磁带录音机很快在家庭中得到普及。

原理 录音机的磁性录放过程分为两部分：一部分是把声音信号变为磁性信号的记录过程。当声音通过话筒时，话筒输出与声音相对应的电信号，经过放大和均衡电路处理后，电信号流经录音磁头，在录音磁头线圈的铁芯中感应出相应的磁通，并在磁头的磁隙中产生漏磁场，与录音磁头接触并作相对运动的磁带因此被磁化，形成与信号电流的大小成正比的剩磁磁迹，于是，声音被记录在磁带上。另一部分是重放过程部分。录有剩磁的磁带以和录音时相同的速度经过放音磁头，磁带表面的剩磁与放音磁头的磁隙形成闭合磁路，并在放音磁头的线圈中产生感应电动势，经放大、均衡和功率放大后，即可由扬声器放出原来录制的声音。

构成 各种类型的磁带录音机的构成基本上相同，主要包括驱动系统、磁头和电路系统，如图所示。



磁带录音机的构成

驱动系统由功能按键、变速传动机构、电动机和附属机构（如制动、自停、防误抹、稳速、计数机构等）组成，主要用于实现录音机的三种传动状态（走带、快进和倒带）和暂停、停止状态。其主要功能是在录、放音期间将磁带夹在主导轴和压带轮之间，借助摩擦力的作用使磁带按规定速度运动。

磁头是一种电磁换能器，在录音机中依走带方向按消磁头、录音头、放音头的次序排列。在录放音状态下，磁头缝隙与磁带的相对位置决定了磁带上记录的磁迹图。当磁带经过录音磁头的缝隙时，磁头内随录音机输入信号的磁力线便通过磁带构成回路，使磁带上的磁性层磁化，形成与电信号的变化相对应的剩磁。当此录音磁带经过放音磁头时，磁头线圈感应出与磁带上剩磁相对应的电压，再经均衡、放大还原为

声音信号。

电路系统主要包括：放大由传声器或其他信号源来的信号的录音放大器；供给消磁头和录音头所需的高频偏磁电流的高频振荡电路；把放音头再生的微弱信号放大到必要电平的放音放大器。除此之外，还有表示录音或放音电平的电平指示电路和其他附属电路，以及供给整个机器能源的电源电路等。

常见开关 不同机种、不同机型的磁带录音机所设置的功能键种类有很大差别，常用英文缩写作标注。常用的功能键及符号如表所示。

磁带录音机常用的功能键及符号

功能	英文标注	符号	说 明
停止 / 开盖	STOP / EJECT	■ ■ / ▲	先按则停止；再按则开舱盖
录音	REC	● (红色)	按下为录音，对两磁头的录音机需同时按下录音和放音键才能录音
放音	PLAY	▶	按下为放音
快进 / 选听	FF / CUE F. FWD / CUE	▶▶	按下为快速进带；放音时轻压此键可快速选听后边的节目，放开后即按标准速度放音
倒带 / 复听	REW / REVIEW	◀◀	按下此键时磁带离开磁头快速倒回；放音时轻压此键，放音头接触磁带，可快速查找前边的节目，放开后即可重放
暂停	PAUSE	■ ■	按下此键可在不切断电源的条件下停止磁带运转，再按则继续运行。有些录音机压住就停止，松开即运行

磁带录音机有开盘式与盒式两大类。前者的电声性能较高，但不如后者使用方便。20世纪80年代以来，人们开始将数字技术应用在传统磁带录音机上，研制出新一代利用原有开盘式和盒式录音机传动机构的脉冲编码调制（PCM）录音机，其主要技术指标远高于采用模拟信号的传统磁带录音机。数字化必将是磁带录音机的主要发展方向。

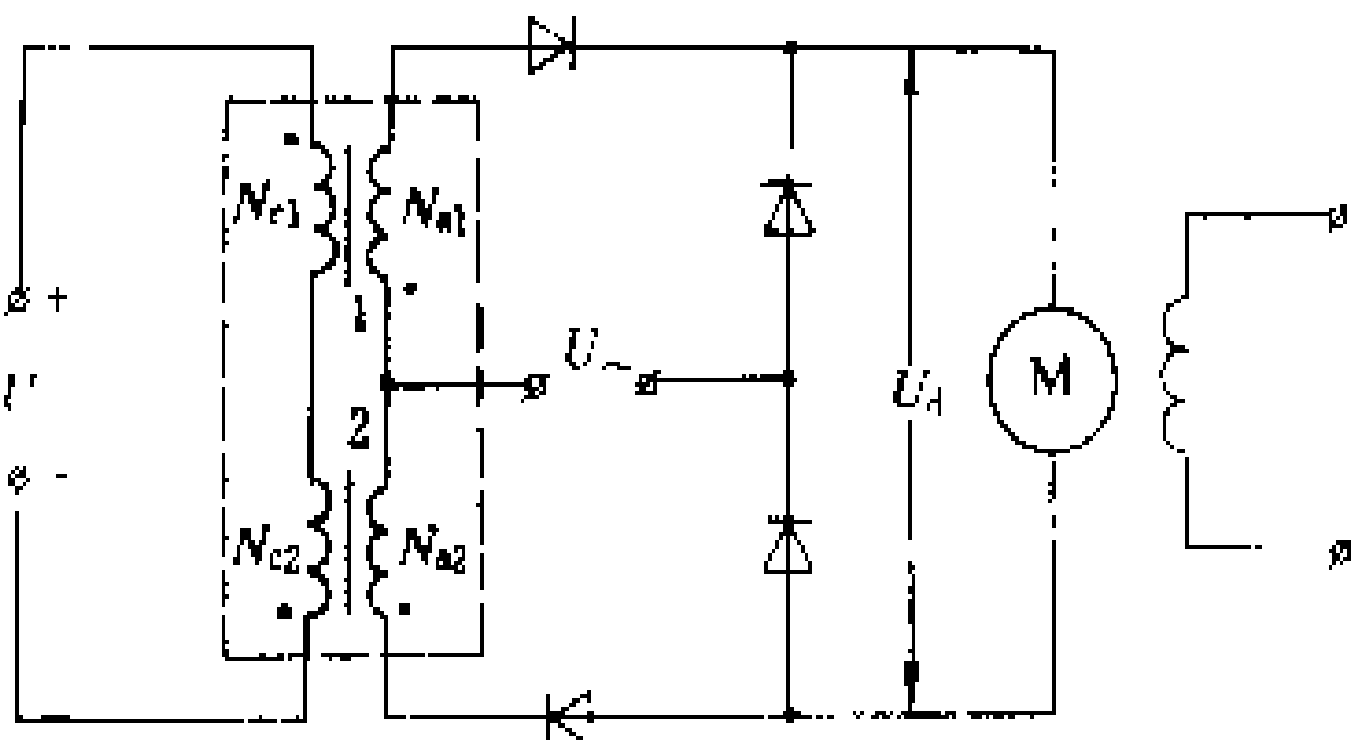
（潘宗福）

cifangdaiqi zhiliu tiaosu

磁放大器直流调速 （speed control of DC motor by magnetic amplifier） 利用磁放大器输出电压可调的直流电，实现直流电动机调速的技术。



磁放大器的工作原理和进行直流调速的原理图如图所示。图中虚线框为磁放大器，它有两个铁芯 1 和 2。每个铁芯上装有两个绕组，一个称控制绕组 N_c ，一个称交流绕组 N_a ，两个控制绕组反极性串联后接到低内阻直流控制电压 U_c ，两个交流绕组顺极性相连后与负载串联，然后通过桥式整流接到交流电压 U_a 。



磁放大器供电进行直流调速的原理图

控制信号 U_c 为 0 时，交流绕组加上交流电源后，两个铁芯均接近饱和但未饱和，电源电压全部降在交流绕组上， U_a 输出接近为 0。

当电压为正半周时，控制绕组上加有如图极性的控制信号 U_c ，则铁芯 2 磁通将减少，铁芯 1 磁通将增加，并将出现饱和。一旦饱和，则 N_{c1} 及 N_{c2} 均无感应电动势而相当于一根导线，再加上控制电源内阻很小， N_{c1} 就相当于把 N_{c2} 短路。短路绕组的存在迫使铁芯 2 里的磁通不能变化，因而交流绕组 N_{a2} 两端的感应电动势亦为 0。由于 N_{a1} 、 N_{a2} 两个交流绕组的感应电动势均为 0，所以电源电压 U_a 从饱和瞬时开始将被输出到与交流绕组串联的电动机电枢两端。当交流电源工作于负半周时，则 N_{a2} 先达到饱和，强迫 N_{a1} 中的磁通不变，输出负电压，通过二极管整流桥把输出的电压整流成单方向的脉动电压 U_a 。

若控制信号加大，那么铁芯中磁通达到饱和的时间提前，输出电压就相应加大。将整流后的电压供给直流电动机电枢或励磁绕组时，电动机的转速就得到控制。其调速范围一般为 1 : 10，在有速度反馈时可达到 1 : 100。

磁放大器按照磁芯结构的不同类型可分为 O 型、Π 型和 III 型，按容量来分，10 kW 以下一般用单相线路，大容量的要用三相线路，容量可达 800 kW，在要求可逆时则需采用两相线路。

由于磁放大器铁芯是由硅钢片构成，无旋转部分，控制绕组与主回路互相绝缘，且可以设计成多个控制绕组进行复合控制，所以结实可靠，过载能力强，噪声小，控制绕组之间没有电的联系，控制灵活，因而适合于各种需要改变电压的自动控制场合。

20 世纪 60 年代左右出现了晶体管，它不像磁放大器那样有铁芯和绕组，相比之下具有体积小、材料

省、重量轻、效率高、放大倍数大的优点，所以磁放大器直流调速已被晶体管控制直流调速所取代（见晶闸管相位控制直流调速）。

（黄继鹤）

cifu tielu

磁浮铁路（railway of magnetic levitation）

利用异性相吸、同性相斥的电磁感应原理，以直线电动机驱动车辆，运行时车体悬浮或吸浮于导轨上面，并为之保持一定间隙的铁路。磁浮铁路所用的车辆通常称为磁浮列车。磁浮列车悬浮或吸浮于磁浮铁路导轨，无轮轨摩擦，不受粘着条件限制，具有高速（时速可达 500 km/h 以上），无公害（无环境污染），轮轨间无冲击振动，无噪声及废气污染，安全稳定，舒适性好，检修量小，没有钢轨、车轮、接触线、受流器等磨损部件，可完全自动控制等特点，是一种新式交通工具。（参见彩图插页第 21 页 66 图）

按磁浮车辆所用的电磁铁可分为常导吸引型（EMS）及超导排斥型（EDS）两大类。磁浮铁路的导轨结构有反 T 型及 U 型两种（见图 1），一般采用钢筋混凝土制成，其上铺设导轨及悬浮、导向用线圈等。

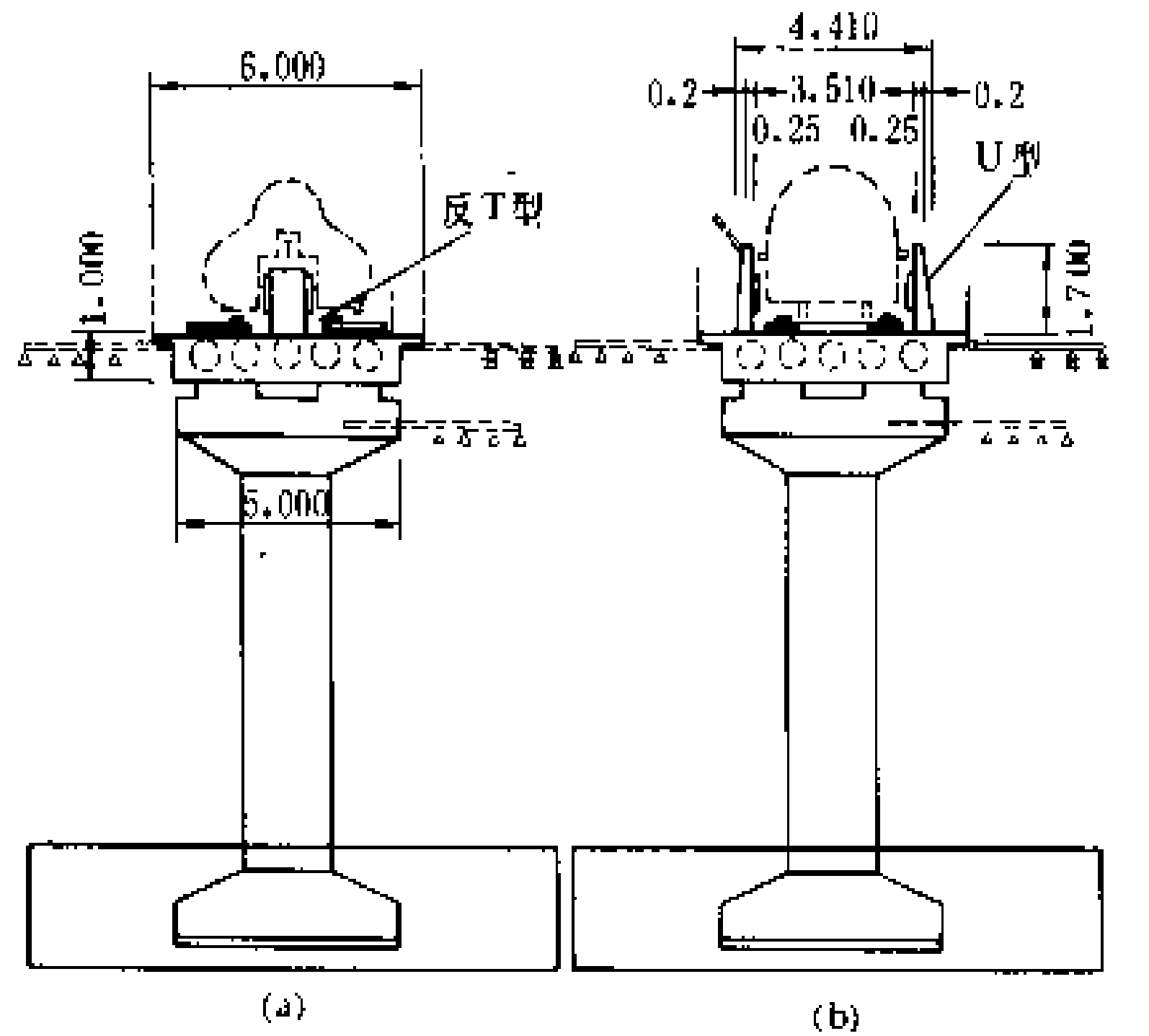


图 1 导轨结构

(a) 反 T 型；(b) U 型

常导吸引型磁浮铁路 利用磁铁吸钢板的原理运行，见图 2 (a)。这类磁浮铁路在磁浮列车车体底部安装电磁铁 1，两侧倒转向上的顶部安装电磁铁 2，在 T 形导轨的上方和伸臂部分下方分别装设反作用板和感应钢板。当电磁铁 1 通电后，在对感应钢板的吸引力和车辆重力平衡时，使车辆悬浮于导轨而上；当电流通过电磁铁 2 时，反作用板产生涡流，利用两者的拉力使车辆前进。运行的车辆用感应直线电动机驱动。这种类型磁浮铁路适用于高速干线或中、低速的城市及近郊运输，成本较低。日本的 HSST 型及联邦德国 TR 型快速



动车均属于常导吸引型。

超导排斥型磁浮铁路 利用磁铁同极相斥原理运行,见图2(b)。这类

磁浮铁路在磁浮列车
的车体上安装有超导
磁铁,轨道侧安装有
悬浮线圈、推进兼导
向线圈。当直线电动
机推动车辆运行时,
超导线圈内通电后成
为超导磁铁,由于磁
感应作用,使悬浮线
圈及左右的导向线圈
内交链磁通变化,因
而产生浮力或左右导
向的复原力,维持磁

浮车辆正常悬浮运
行。超导排斥型磁浮铁路的磁浮列车采用直线同步电
动机驱动。这种铁路悬浮高度达100 mm,能高速运
行,在日本宫崎实验线上的MLU型磁浮试验车辆属
于此型,且只有日本用此类型磁浮铁路。

简史 日本自20世纪60年代开始研究常导吸引
型磁浮铁路。由于超导、电子技术的迅速发展,从1970
年开始研试超导排斥型磁浮铁路,在7 km长的宫崎
实验线上进行了一系列基础技术研究试验工作,1977
年开始运行试验,1987年运行速度达400 km/h。于
1992年开工修建42 km长的山梨新实验线,用于进行
实用化的考核试验。

联邦德国在20世纪60年代末开始研制高速磁浮列
车,1977年经过试验分析,决定采用常导吸引型磁浮
铁路。1979年在汉堡国际博览会上用TR-05动车创
造了试验速度为90 km/h的纪录。1983年以TR-06
动车创造了最高试验速度达402.6 km/h的纪录。该
车是按实用运行设计的,最多编组为12辆。在TR-
07快速动车上,对于防止噪声、减轻重量、提高速度等
方面又作了改进,自1988年开始运行试验及性能试
验。1989年12月在埃姆斯兰试验基地创造最高速度
435 km/h。联邦德国计划在汉堡—汉诺威间(150 km)
修建磁浮铁路,预计在1995年部分投入运营。

磁浮铁路技术20世纪90年代已开始进入实用化
阶段。磁浮铁路可以代替和补充中、低速的航空运
输,将成为21世纪改善交通运输,高速、节能、低污
染,有利于生态及环境保护的比较理想的交通工具。
它在未来的信息化发展的综合交通运输系统中将占有
重要地位。

(袁维慈 高福尧)

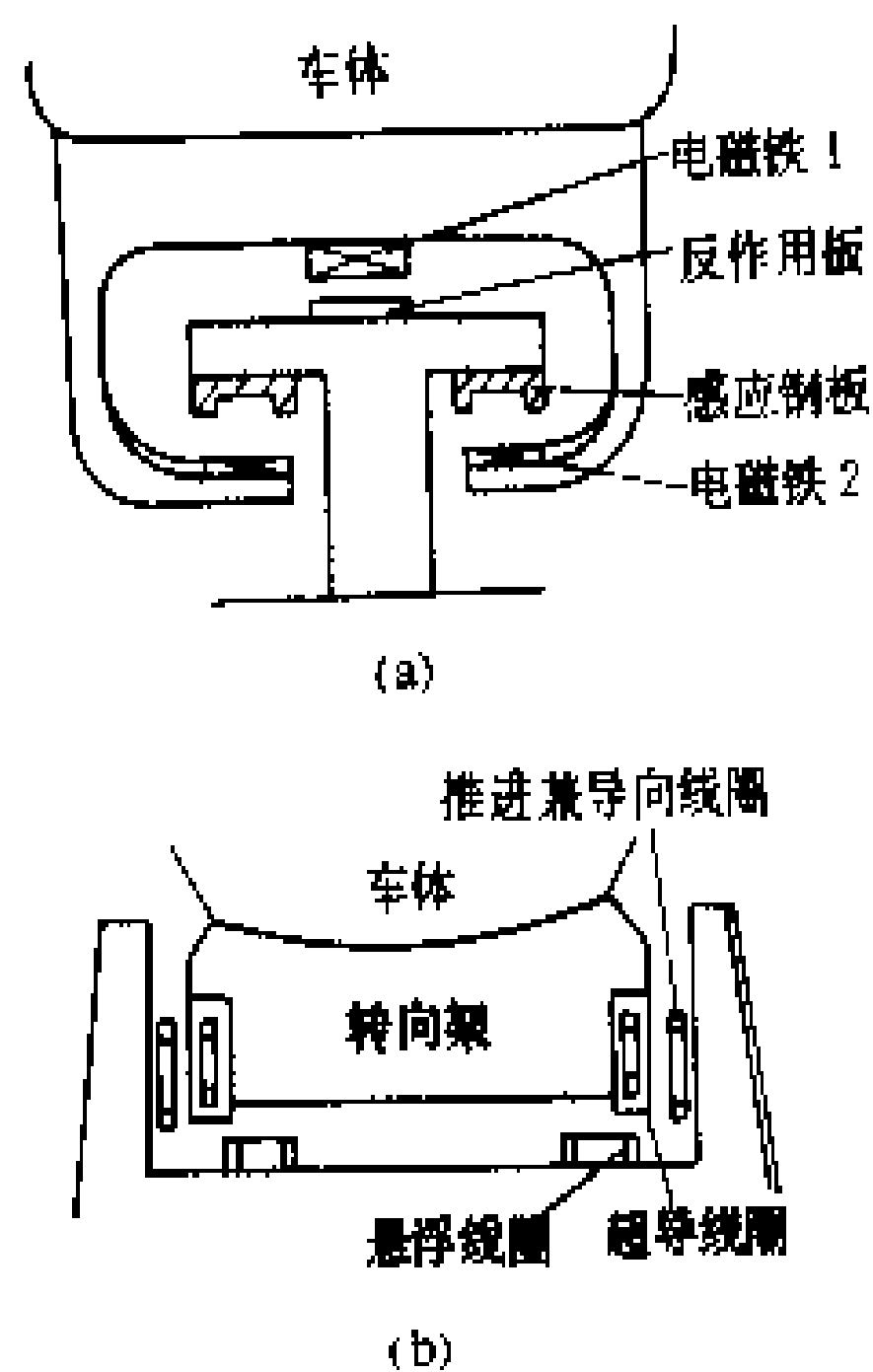


图2 磁浮列车原理图
(a)常导吸引型;(b)超导排斥型

cifu diandongji

伺服电动机 (servomotor) 应用于运动控
制系统中,输出参数(如位置、速度、加速度或力矩
等)可控的电动机。伺服电动机应具有的基本性能是:
良好的可控性、稳定运行和响应快速。这种电动机由于
接到信号时能快速起动,失去信号时能迅速自行停转,
而有“伺服”之名。

伺服电动机有交、直流两类,采用直流电动机结构
的称为直流伺服电动机,采用交流电动机结构的称为
交流伺服电动机。

直流伺服电动机 其工作原理与一般直流电动机
相同,如图1所示。当励磁绕
组通入电流并产生磁通,电
枢绕组也通过电流时,这个
电枢电流与磁通相互作用产
生电磁转矩使伺服电动机投
入工作。这两个绕组中的任
一个断电时,电动机立即停

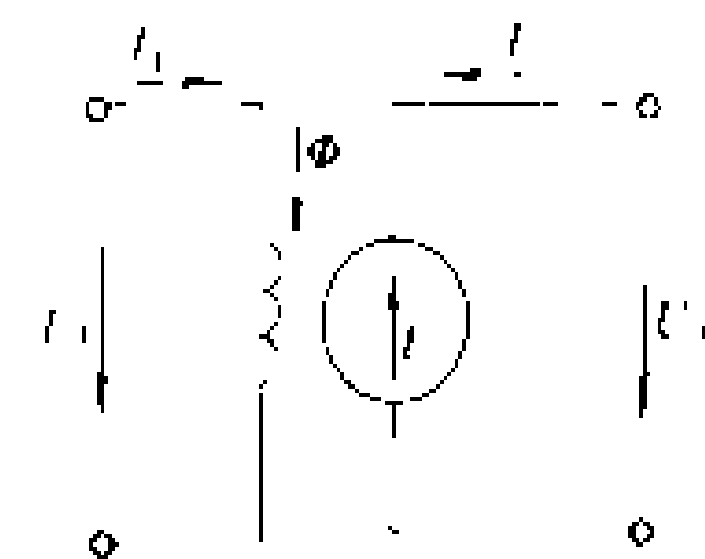


图1 直流伺服电动机
工作原理图

电动机调速的控制方式
有两种:改变电枢电压的电
枢控制和改变励磁电压的磁
场控制。一般多采用电枢控
制,机械特性和调节特性均
为线性,时间响应迅速。在永磁式直流伺服电动机中,
磁极是永磁体,磁通恒定。

直流伺服电动机应用广泛,例如用于录像机和精
密机床中。

交流伺服电动机 基本结构与感应电动机相似,
定子铁芯由冲有齿和槽的硅钢片叠压而成。定子上有
两个空间相差90°电角度的励磁绕组F和控制绕组K,
故称两相交流伺服电动机。常用的转子结构有笼型和
非磁性杯型。笼型转子与一般笼型感应电动机的转子

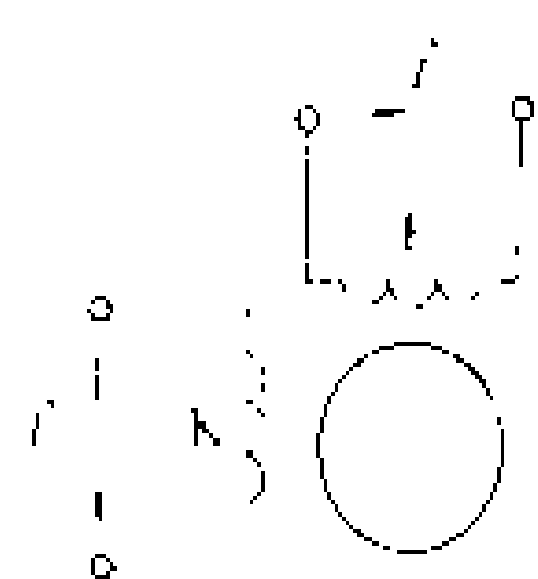


图2 交流伺服电
动机工作原理图

F—励磁绕组;K—控
制绕组; \dot{U}_f 、 \dot{U}_k —励
磁电压、控制电压

交流伺服电动机的工作原理
与感应电动机相同,如图2所示。
励磁绕组接单相交流电压 \dot{U}_f ,控
制绕组接控制信号电压 \dot{U}_k 。控制电压为零时,气隙内
为脉振磁场,电动机无起动转矩,转子不转。若加上
控制电压,且控制绕组内的电流与励磁绕组内的电流



相位不同，则在气隙内建立旋转磁场，有了起动转矩，转子旋转。如果交流伺服电动机的参数选择得和一般单相感应电动机相似，它就会和单相感应电动机一样，电动机一经转动，即使除去控制电压，只有单相励磁时，还会继续转动，这种现象称为自转。自转现象破坏了伺服性，必须避免。增大转子电阻可以克服自转现象，因此，设计时转子电阻的选择应以满足单相供电不自转的要求为前提。

两相交流伺服电动机的励磁电压及控制电压幅值和相位差的改变可决定电机输出转矩、转速和转向。这种电动机常运行在转差率为 0.4~1 之间，所以它的效率低。

(金放政)

cifu xitong

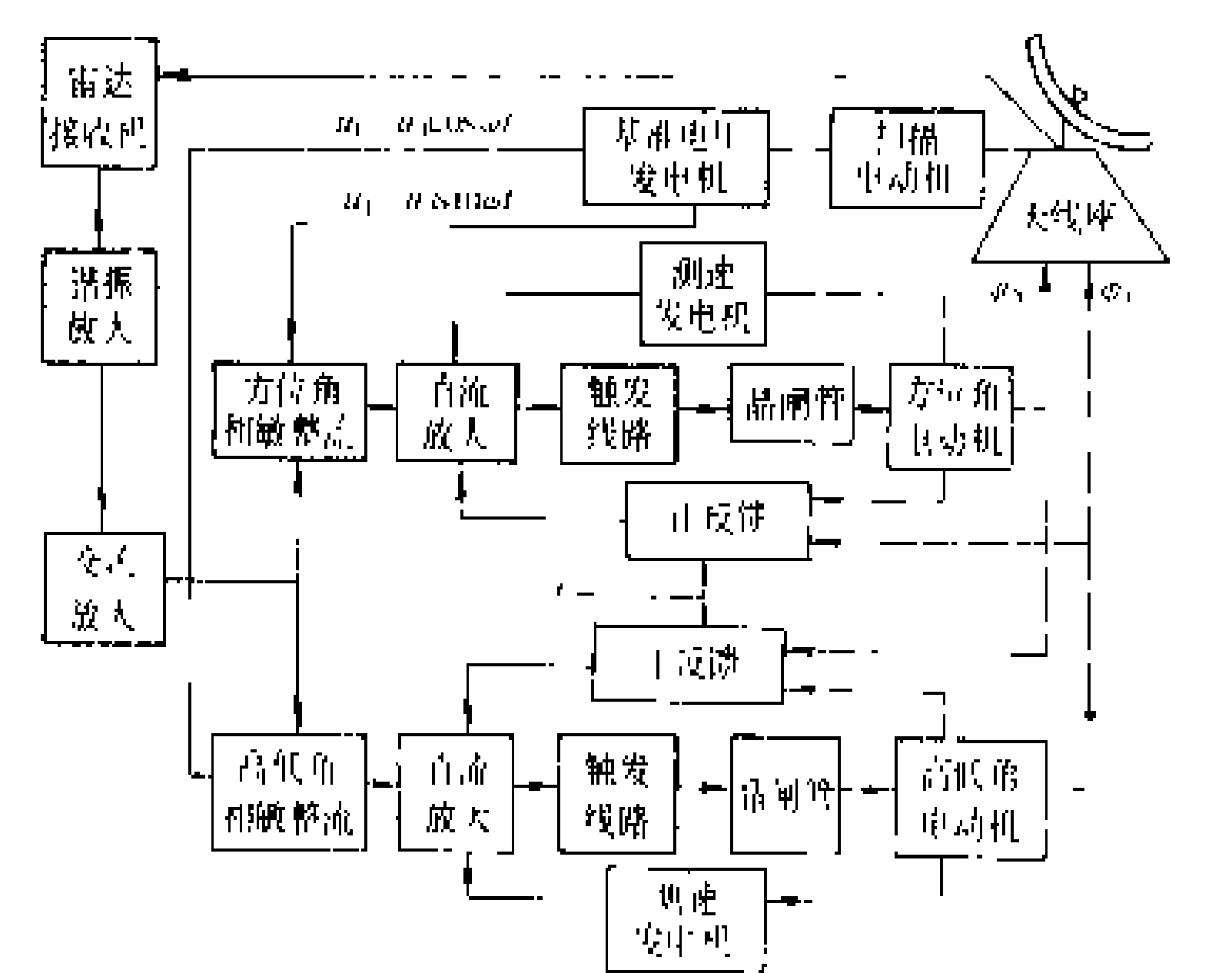
伺服系统 (servomechanism) 实现输出变量精确地跟随或复现输入变量的控制系统。在很多情况下，伺服系统专指被控制量(系统的输出变量)是机械位移或位移速度、加速度的反馈控制系统，该系统的输出机械位移(或转角)准确地跟踪输入的位移(或转角)，其结构组成和其他形式的反馈控制系统没有原则上的区别。

伺服系统最初用于国防军工，如火炮的控制，舰船、飞机的自动驾驶，导弹发射等，后来逐渐推广到国民经济的许多部门，如自动机床，无线跟踪控制等。采用伺服系统有以下几个作用：①以小功率指令信号去控制大功率负载。火炮控制和舰艇舵位控制是这种控制的典型例子。②在没有机械连接的情况下，由输入轴控制位于远处的输出轴，实现远距离同步传动。③使输出机械位移精确地跟踪电信号，如记录和指示仪表是这种控制的典型例子。

伺服系统按控制变量的型式不同有模拟控制的伺服系统和数字控制的伺服系统；按所用驱动元件的类型不同可分为机电伺服系统、液压伺服系统和气动伺服系统。机电伺服系统中，从机械结构上有常用齿轮啮合传动伺服系统，消间隙齿轮传动或双电动拖动的高精度伺服系统，以及采用无齿轮系的直接传动特高精度伺服系统等。

炮瞄雷达天线控制系统方框图如图所示。该系统的高低与方位两套系统共用一个误差测量装置、接收机及谐振放大器，只有在信号经交流放大后，才通过高低与方位相敏解调器，将高低角系统与方位角系统分开。当天线接收到目标反射的回波送给接收机，接收机

将高频脉冲信号变换成较低频率的脉冲，并获得一低频误差信号，再经过谐振放大器，将信号中的高频信号去掉。放大器输出信号经交流放大级放大后，送至高低角系统与方位角系统的相敏解调器。方位角相敏解调器仅让方位误差信号通过，而与参考电压 u_r 成正交的高低角误差信号被阻塞。同理，高低角相敏解调器仅让高低角误差信号通过，而与参考电压 u_r 成正交的方位角误差信号被阻塞。方位角相敏解调器输出的直流信号，经过调节器、触发电路及单相全波晶闸管整流电路，驱动方位角电动机旋转。该电动机一方面通过减速器带动天线向消除误差角的方向旋转；另一方面带动测速发电机，构成速度负反馈，同时带动正余弦旋转变压器构成正反馈，以提高系统的精度。高低角相敏解调器输出经过同样环节后，驱动高低角电动机，并构成相应的负、正反馈。



炮瞄雷达天线控制系统方框图

衡量伺服系统性能的主要指标有频带宽度和精度。频带宽度简称带宽，由系统频率响应特性决定，它反映伺服系统跟踪的快速性。带宽越大，快速性越好。带宽主要受控制对象和执行机构的惯性限制。惯性越大，带宽越窄。一般伺服系统的带宽小于 15 Hz，大型设备伺服系统的带宽在 1~2 Hz 以下。伺服系统的精度主要决定于测量元件的精度。因此伺服系统必须采用高精度的测量元件，如精密电位器，自整角机和旋转变压器等。此外，也可采用附加措施来提高系统的精度，如将测量元件(旋转变压器等)的测量轴通过减速器与转轴相连，使转轴的转角得到放大，来提高相对测量的精度。采用这种方案的伺服系统称为精测粗测系统或双通道系统。

(徐道恒 施传立)

D

danjinglu

单晶炉（monocrystallizing furnace）用来提纯半导体材料（如硅、锗）、激光材料（如钇铝石榴石）、高纯金属材料（如钨、钼）等使之成为单晶体的电炉。提纯方法有直拉法（Z 法）和区熔法（FZ 法）两种。直拉法单晶炉通常就称单晶炉，区熔法单晶炉简称区熔炉。这是一类控制和传动都要求十分精确的电炉。

直拉法单晶炉 这种电炉可以用电阻加热，也可以用感应加热，以前者较多。用电阻加热时，它是一种精密的真空电阻炉。以使用最普通的硅单晶炉为例，其典型结构如图。工作时，在真空度不低于 10^{-3}Pa 时将原料——多晶硅加热熔化。坩埚上方有一根提拉轴，其终端固定有一粒直径为 $5\sim 10\text{mm}$ 的籽晶。开始时，籽晶浸入温度略高于硅熔点的熔液中。籽晶轴一方面旋转，一方面以约 1mm/min 的速度缓慢上升，同时坩埚作反方向旋转。在严格的工艺条件下，熔融硅将按籽晶

炉子的结构类似。

区熔法单晶炉 区熔法是靠局部加热使材料锭条上出现一个狭窄的熔化区，并使熔化区缓慢向一个方向移动，利用杂质在固相和液相间的溶解度差异使材料得以提纯的方法。区熔法硅单晶炉的基本结构与直拉法的类似，但炉内没有坩埚。被提纯的多晶硅棒夹在上下两轴之间，由套在外面的扁环形感应线圈进行感应加热。硅棒下端附有籽晶。感应线圈先位于硅棒下端，在硅棒中加热出一个狭窄的熔化区，然后上下两轴互相作正反方向旋转，同时感应线圈和熔化区缓慢上升。在严格的一定条件下，硅棒中的杂质将富集到棒的一端而使棒的其余部分得到提纯并形成单晶。这种炉子的特点是不用坩埚，可防止氧、碳进入单晶，因此在制造反向电压硅整流元件用单晶方面占重要地位。但这种炉子难以制造大直径单晶，其温度控制和直径控制也较困难，限制了它的应用。金属材料的提纯多用区熔法。炉子可以有多种不同结构，常采用电子束加热。

（高 升 蒋聪吉）

danwei chanpin (chanzhi) hao dian

单位产品（产值）耗电 [electricity consumption of unit product (unit output value)]

生产单位产品或完成单位工作量(产值)所消耗的电能，又称产品（产值）单耗。产品（产值）单耗通常按一个生产（工作）周期内产品产量（产值）和消耗电能进行加权平均计算，即

$$D=\frac{W}{G}$$

式中 D 为产品（产值）单耗， W 为一个周期生产产品（产值）消耗的电能； G 为周期内生产合格产品（产值）的数量。

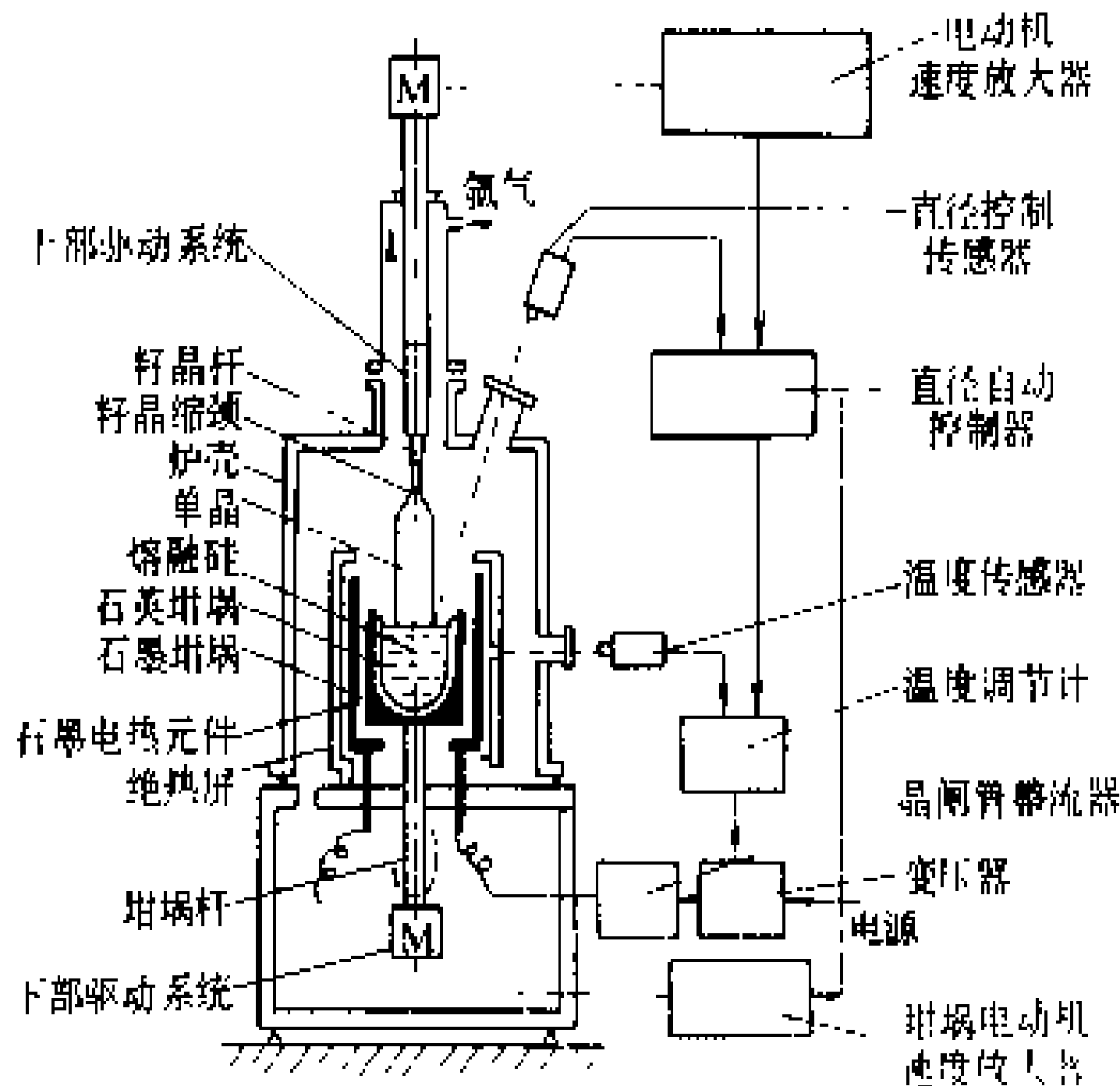
产品（产值）单耗是制定电耗定额的参考因素之一。它与核定的电耗定额比较，可用于考核合理用电、生产人员工作水平和计算节约用电成果；与本单位历史产品（产值）单耗对比可用于检查节约用电工作成果；与同类企业产品（产值）单耗对比，可检查生产技术和经营管理水平的差异。

为了达到可比的目的，计算产品（产值）单耗采用的产品产量(产值)以及消耗电能的计算范围、单位，统一按制定电耗定额的规定进行计算。

（翟克俊）

danxiang ganying diandongji

单相感应电动机（single-phase induction motor）用单相交流电源供电的感应电动机，



直拉法单晶炉示意图

的结晶方向凝固成硅单晶。这种单晶炉是 20 世纪 50 年代出现的，制造集成电路和晶体管的无位错硅单晶绝大部分都用它生产。硅单晶的重量达 15kg ，直径达 150mm ，直径误差在 $\pm 0.5\text{mm}$ 内。拉制其他单晶的



亦称单相异步电动机。单相感应电动机与同容量的三相感应电动机相比,体积较大,起动和运行性能较差,但如果容量不大,则所述缺点不很突出,因此只做成小容量的,功率从几瓦到几千瓦。单相感应电动机由于具有结构简单、成本低廉、运行可靠等优点,而广泛被应用于家庭、办公室、医院和商店等只有单相交流电源的场所,以及各行各业的小功率驱动中。

基本工作原理 如果定子上只有一相绕组,在绕组中通入交流电流,将产生脉振磁通势,它的幅值位置不随时间改变,但幅值的大小随时间变化。一个脉振磁通势可以分解为两个幅值相等、方向相反的旋转磁通势 \dot{F}_+ 和 \dot{F}_- , 每个旋转磁通势的幅值为脉振磁通势最大幅值的一半,旋转角速度均为同步角速度。这两个旋转磁通势分别产生正转磁场和反转磁场,正、反转磁场同时在转子绕组中分别产生感应电动势和电流,从而产生使电动机正转和反转的电磁转矩 M_+ 和 M_- , $M_+ = f(n)$ 和 $M_- = f(n)$ 曲线,如图 1 所示。图中 $M_+ = f(n)$ 的同步速为 n_s 。当转子转速 n 处于 n_s 和 0 之间时,为电动机状态,产生的电磁转矩作为正方向。当转子转速 n 为负值时,为制动状态。 $M_- = f(n)$ 的同步速为 $-n_s$ 。当转子转速处于 $-n_s$ 和 0 之间时,为电动机状态,产生的电磁转矩为反方向。当转子转速 n 为正值时,为制动状态。由于 $F_+ = F_-$, 曲线 $M_+ = f(n)$ 和 $M_- = f(n)$ 是对称的,总的电磁转矩 $M = M_+ + M_-$, $M = f(n)$ 为合成机械特性。从图 1 所示, $M = f(n)$ 曲线可看出,单相感应电动机有两个特性:① $n=0$ 时,由于 $M_+ = -M_-$, 使合成电磁转矩 $M=0$ 。这说明电动机只有一相绕组时,不能产生起动转矩。②若采取措施使电动机具有一定转速,即 $n \neq 0$, 合成转矩 M 就不等于零,转速为正时 M 亦为正,转速为负时 M 亦为负。这说明单相感应电动机虽无起动转矩,但一经起动,电动机只有一相绕组也能继续运行。

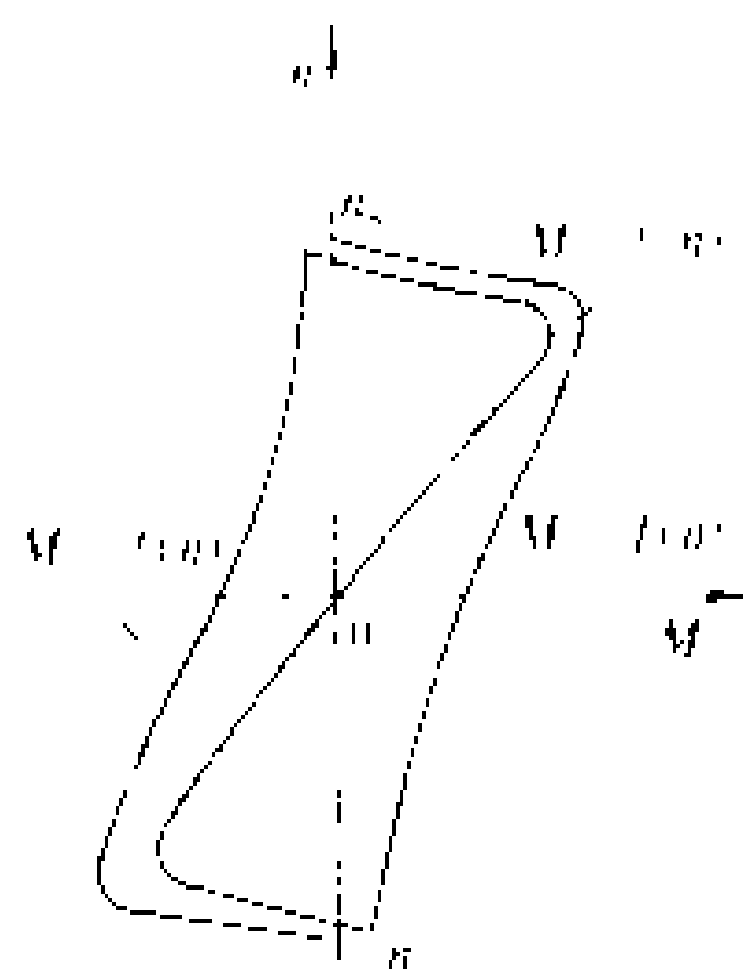


图 1 单相感应电动机的转矩-转速特性

如果在定子上有两相绕组,并通以两相交流电流,则可产生旋转磁通势。若两相绕组的轴线在空间上相差 90° 电角度,两相电流在时间上相差 90° 电角度(电角度等于机械角度乘以电动机磁极对数),两相的磁通势大小相等,则在电动机内产生圆形旋转磁通势。若两相绕组不满足上述要求中的任何一个时,将产生椭圆形旋转磁通势,它可分解为两个大小不等,朝相反方向旋转的

旋转磁通势 \dot{F}_+ 和 \dot{F}_- , 这两个旋转磁通势大小通常不等, \dot{F}_+ 和 \dot{F}_- 将在电机内分别产生电磁转矩 M_+ 和 M_- 。 $M_+ = f(n)$ 、 $M_- = f(n)$ 和 $M = f(n)$ 三条曲线如图 2 所示。由于 $F_+ \neq F_-$, $M_+ = f(n)$ 的最大值和 $M_- = f(n)$ 的最大值不相等,故两条曲线不对称。从 $M = f(n)$ 曲线可以看到, $n=0$ 时,起动转矩 $M \neq 0$ 。起动转矩的大小和正、反转磁通势的大小有关, F_+ 和 F_- 相差愈大,则起动转矩愈大。起动转矩的方向与 M_+ 和 M_- 中较大的同向。

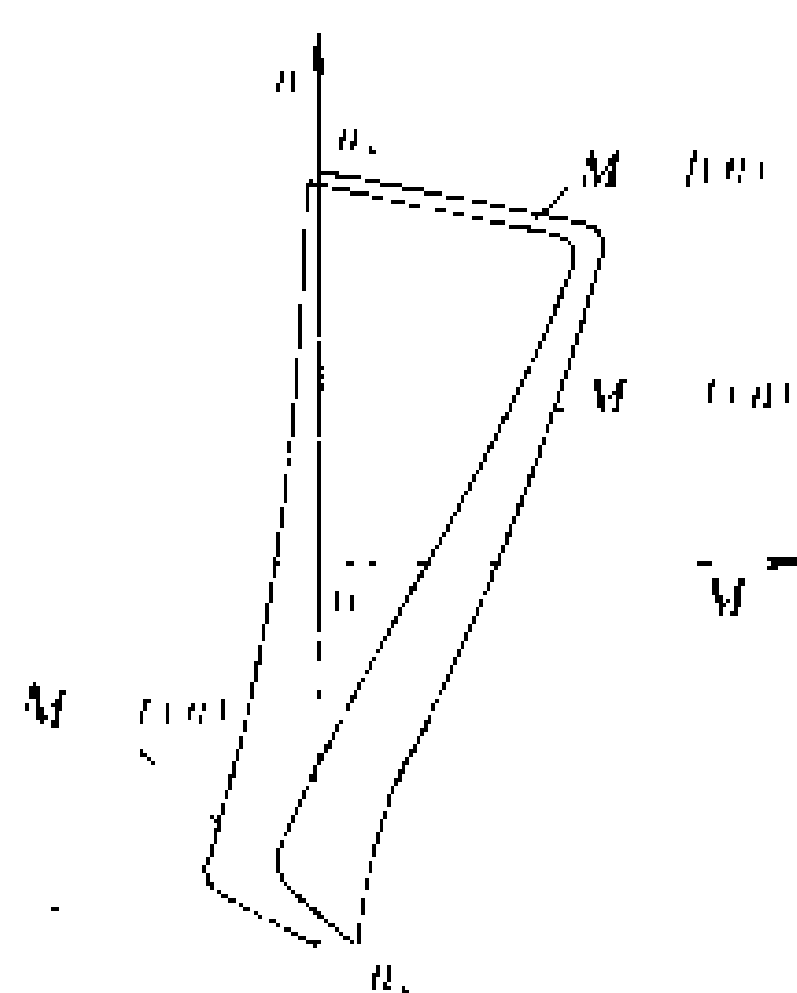


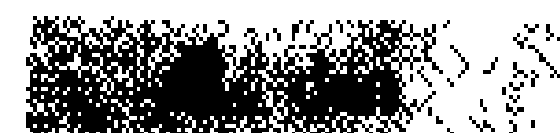
图 2 两相感应电动机的转矩-转速特性

综上所述,单相感应电动机的关键问题是如何起动的问题,为此,必须具备以下两个条件:①在定子上有两个空间不同相位的绕组,一个是主绕组(也叫工作绕组或运行绕组),另一个是辅助绕组(也叫起动绕组);②两相绕组中通入不同时间相位的交流电流。因此,实际的单相感应电动机在起动时都是一个两相绕组的电动机。主绕组在电动机起动和运行时都一直接在交流电源上,而辅助绕组只在起动时通电,起动后可以切除不用。

分类 单相感应电动机的定子上通常有两相绕组,转子为笼型。根据起动方法和相应结构上的不同,单相感应电动机有分相式和罩极式两种。

分相感应电动机 一种单相感应电动机。其定子上有两个在空间相差 90° 电角度的绕组。一个是主绕组,由单相电源供电;另一个是辅助绕组,串联电阻或电容后与主绕组并联,以使其中通过的电流与主绕组中的电流有一定的时间相位差。这样两个绕组在电动机中就可产生椭圆旋转磁通势,甚至可能接近圆形旋转磁通势,因此,电动机可以获得起动转矩。改变辅助绕组回路(指辅助绕组和电阻或电容串联的回路)的电阻或电容,使两相绕组中电流的相位差不同,则椭圆旋转磁通势的椭圆度随之不同,电动机的性能也就有所差异。分相感应电动机又可分为四种:电阻起动分相感应电动机、电容起动分相感应电动机、电容起动及运行分相感应电动机和双值电容分相感应电动机。

(1)电阻起动分相感应电动机。它是依靠电阻使主绕组和辅助绕组的电流之间产生相位差的单相感应电动机。电阻或由辅助绕组本身提供,或由一个单独的串联电阻提供。辅助绕组通过一个起动开关和主绕组并



联接到同一单相电源上,如图 3 所示。起动开关的作用是当转子转速升到一定数值(一般为 75%~80%的同步转速)时,断开辅助绕组,使电动机运行在只有主绕组通电的情况下,以减少电阻上的损耗,提高运行效率。常用的起动开关有离心开关和电流型起动继电器。离心开关装在电动机的转轴上随着转子一起旋转,当转速升到一定数值时,依靠离心块的离心力克服弹簧的拉力(或压力),使动触头与静触头脱离,切断辅助绕组回路。电流型起动继电器的吸引线圈串联在主绕组中,起动时由于主绕组起动电流较大,使继电器动作,电动机的辅助绕组通过继电器的常开触点接到电源上,电动机起动,随着转速的升高,主绕组中的电流减小,当减小到一定数值时,继电器复位,辅助绕组回路中串联的继电器常开触点断开,使辅助绕组脱离电源。为使其起动电流超前主绕组的起动电流,可以采取以下措施:①辅助绕组的匝数比主绕组的要少些,以使其电抗较小,并使辅助绕组导线截面积比主绕组的小得多,以增大其电阻;②部分线圈反绕,以减小电抗增大电阻;③串入一个外加电阻。

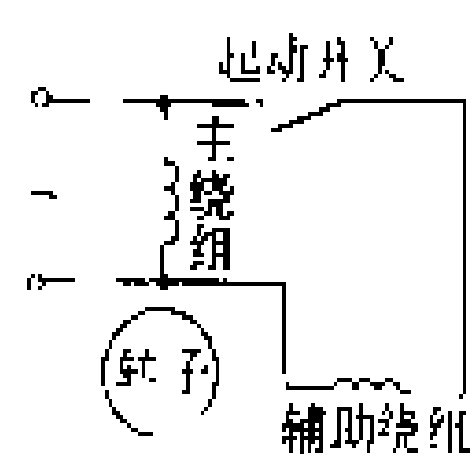


图 3 电阻起动分相感应电动机的原理接线图

由于两个绕组中的阻抗都是电感性的,两相电流的时间相位差不但不可能达到 90°电角度,而且其值也不大,约为 30°~40°电角度,所以产生的起动转矩较小,而起动电流较大。电阻起动分相感应电动机的机械特性如图 4 所示。图中曲线 1 是起动时(两相绕组都通电时)的机械特性,曲线 2 是运行时(只有主绕组通电时)的机械特性。如需改变电动机的转向,只要将主绕组或辅助绕组中的任何一个绕组接到电源的两个端点对调一下即可。这类电动机一般用于起动转矩和过载能力要求不高的场合,例如小型车床、鼓风机、医疗器械等。

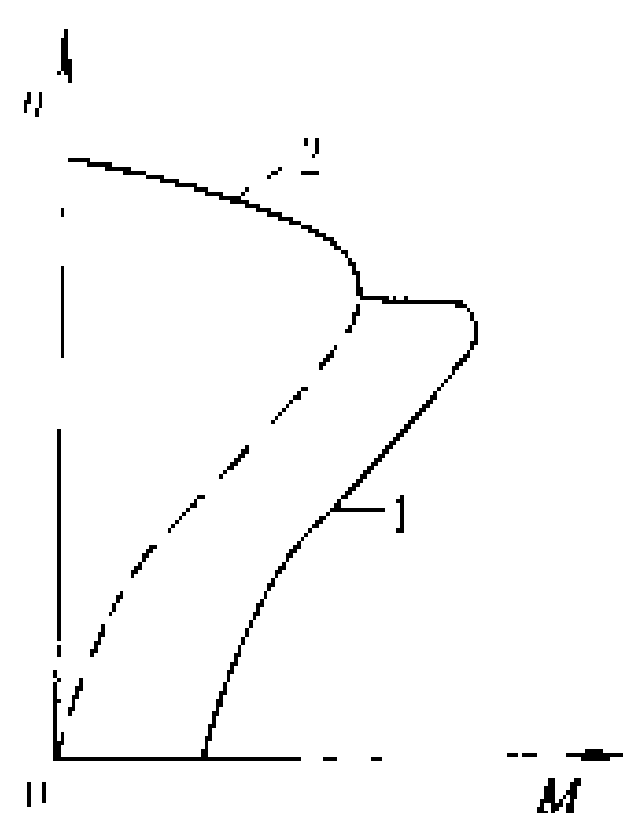


图 4 电阻起动分相感应电动机的机械特性

(2) 电容起动分相感应电动机。它是辅助绕组串联电容器后,经起动开关与主绕组并联的分相感应电动机。辅助绕组仅在电动机起动期间通电,当电动机转速达到 75%~80%的同步转

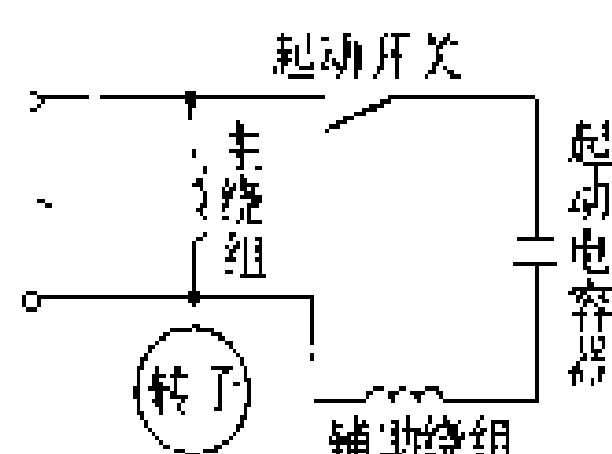


图 5 电容起动分相感应电动机的原理接线图

速时,起动开关动作,使辅助绕组脱离电源,由主绕组单独工作。图 5 是电容起动分相感应电动机的原理接线图。其中,起动开关的型式有离心开关、电流型起动继电器、电压型起动继电器和差动型起动继电器。与电阻起动分相感应电动机相比,这类电动机有以下优点:①由于电容器的电容量仅从考虑起动的需要来选取,所以能够做到使辅助绕组的起动电流在时间上领先主绕组的起动电流约 90°电角度。②辅助绕组的容抗可以抵消感抗使总电抗小些,所以辅助绕组的匝数可以多一些,从而使辅助绕组磁通势增大。以上两点都可使电动机在起动时产生一个接近圆形的旋转磁通势,得到较大的起动转矩。③由于两相电流的相位差接近 90°电角度,合成的线电流比较小,所以电容起动分相感应电动机有较小的起动电流和较大的起动转矩,但运行时的效率和功率因数都较低。图 6 是这种电动机的机械特性。曲线 1 是起动时(两绕组都通电时)的机械特性,曲线 2 是运行时(只有主绕组通电时)的机械特性。

速时,起动开关动作,使辅助绕组脱离电源,由主绕组单独工作。图 5 是电容起动分相感应电动机的原理接线图。其中,起动开关的型式有离心开关、电流型起动继电器、电压型起动继电器和差动型起动继电器。与电阻起动分相感应电动机相比,这类电动机有以下优点:①由于电容器的电容量仅从考虑起动的需要来选取,所以能够做到使辅助绕组的起动电流在时间上领先主绕组的起动电流约 90°电角度。②辅助绕组的容抗可以抵消感抗使总电抗小些,所以辅助绕组的匝数可以多一些,从而使辅助绕组磁通势增大。以上两点都可使电动机在起动时产生一个接近圆形的旋转磁通势,得到较大的起动转矩。③由于两相电流的相位差接近 90°电角度,合成的线电流比较小,所以电容起动分相感应电动机有较小的起动电流和较大的起动转矩,但运行时的效率和功率因数都较低。图 6 是这种电动机的机械特性。曲线 1 是起动时(两绕组都通电时)的机械特性,曲线 2 是运行时(只有主绕组通电时)的机械特性。

电容起动分相感应电动机如需改变转向运行,只要将主绕组或辅助绕组中的任何一个绕组接到电源的两个端点对调一下即可。这种电动机由于具有较高的起动转矩,适用于小型空气压缩机、水泵、电冰箱、磨粉机及满载起动的机械等。

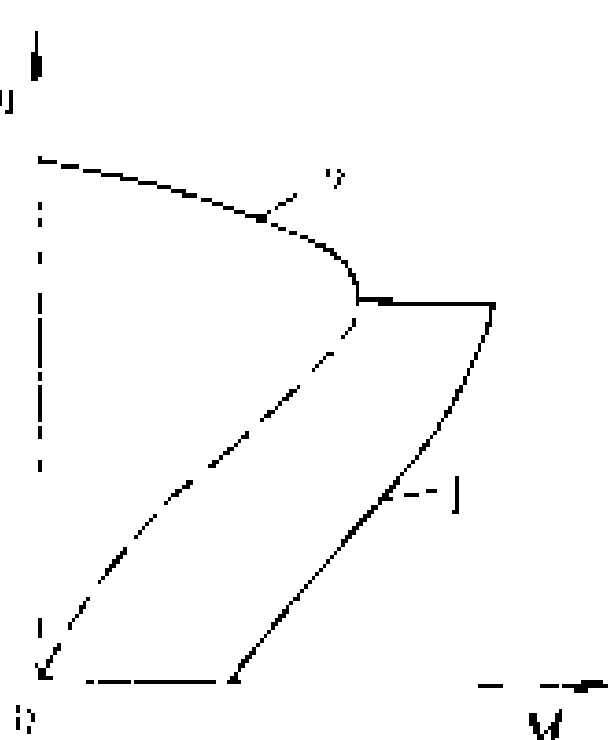


图 6 电容起动分相感应电动机的机械特性

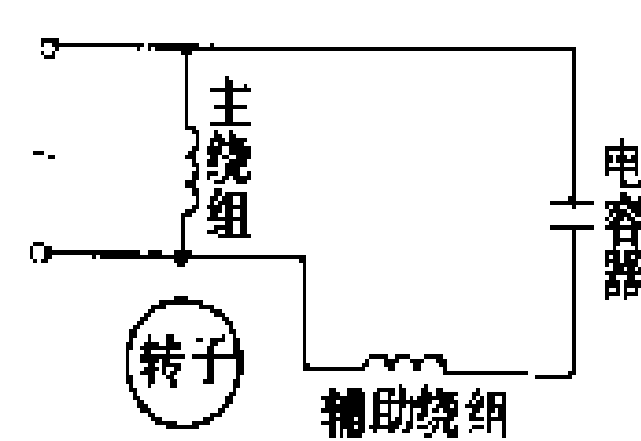


图 7 电容起动及运行分相感应电动机的原理接线图

(3) 电容运转分相感应电动机。它是辅助绕组串联电容器后与主绕组并联,在电动机起动和运行期间辅助绕组均通电的分相感应电动机。其原理接线如图 7 所示。电容器电容量的选配,主要考虑运行时能在电动机中产生接近圆形的旋转磁通势,以获得较高的效率和功率因数。该电容量较电容起动分相感应电动机的电容量要小得多,因此,起动时在电动机中产生的是椭圆形旋转磁通势,致使起动转矩较低,起动电流较大。其机械特性如图 8 所示。这种电动机广泛用于对起动性能要求不高,而对运行性能要求

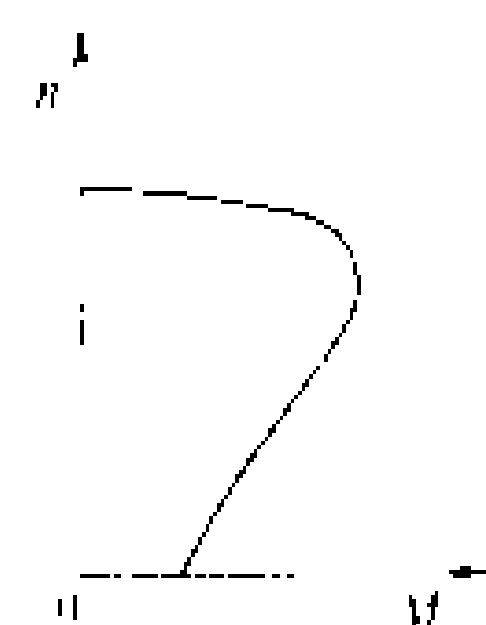
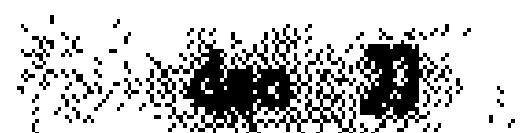


图 8 电容起动及运行分相感应电动机的机械特性

机广泛用于对起动性能要求不高,而对运行性能要求



较高的场合,例如电扇、通风机、洗衣机及各种空载或轻载起动的机械等。调换主绕组和辅助绕组中任一绕组接到电源的两个端点就可以改变电动机的转向。在洗衣机的电动机中,主绕组和辅助绕组设计得完全相同,可以通过定时器使电容器交替接入两个绕组而不断改变电动机的转向。

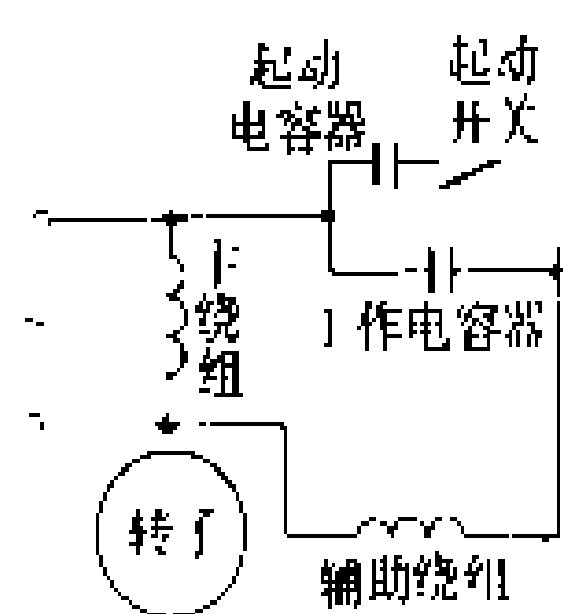


图9 双值电容分相感应电动机的接线原理图

(4) 双值电容分相感应电动机。为了使电动机在起动和运行时都能得到比较好的性能,在辅助绕组中串联两个并联的电容器的分相感应电动机,如图9所示。工作电容器的电容量较小,它始终和辅助绕组串联,在起动和运行时均使用。起动电容器的电容量较大,仅在起动时使用,它与一个起动开关串联后再与工作电容器并联。起动时,串联在辅助绕组回路中的总电容量较大,可以在电动机中产生接近圆形的旋转磁通势。当电动机转速达到(75%~80%)同步转速时,起动开关动作,将起动电容器从辅助绕组回路中切除,由于减小了辅助绕组串联的电容量,使电动机在运行时亦产生接近圆形的旋转磁通势。因此,这种电动机具有较高的起动转矩、过载能力、功率因数和效率,但价格较高,适用于家用电器、泵、农业机械、木工机械、小型机床等。

双值电容分相感应电动机的机械特性如图10所示。它在起动时(曲线1)和运行时(曲线2)的转矩均较大。如需改变电动机的转向,只要将主绕组或辅助绕组中的任何一个绕组接到电源的两个端点对调即可。

罩极感应电动机具有与主绕组在空间上相差一个电角度的辅助性短路绕组的单相感应电动机。所有主绕组和短路绕组都绕在定子上。这种电动机的转子都是笼型结构,定子有凸极式和稳极式两种,凸极式结构简单,如图11所示。凸极式定子铁芯由硅钢片叠压而成,每极上装有集中绕组,即主绕组,每极极靴的一边约1/3处开有小槽,小槽中嵌入短路铜环,叫做短路绕组。短路绕组把部分磁极罩起来,故有罩极感应电动机之称。

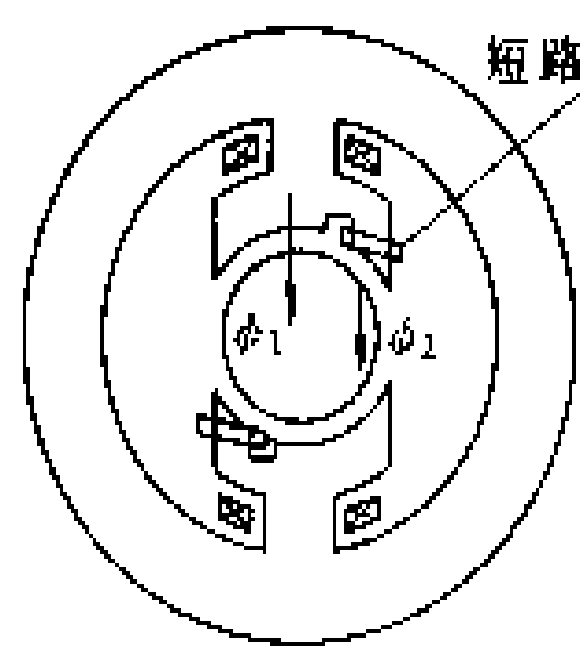


图11 罩极异步电动机的结构示意图

当主绕组通入交流电流 i 时,在磁极间产生脉振磁通 Φ , Φ 分为两部分,即不穿过短路绕组的磁通 Φ_1 和穿过短路绕组的磁通 Φ_2 , Φ_1 与 Φ_2 在时间上同相位。 Φ_2 在短路绕组中感应产生电动势 E_k 和电流 i_k ,考虑到短路绕组漏电感的影响, i_k 比 E_k 要落后一个电角度。由 i_k 产生的磁通为 Φ_k ,忽略涡流的影响时,它们应同相位。于是罩极部分的总磁通 Φ_3 为 Φ_2 和 Φ_k 之和。上述

各物理量的相量图如图12所示。由图可见 Φ_3 在时间上落后于 Φ_1 一个相位角 θ 。 Φ_1 和 Φ_3 的轴线在空间也有相位差,因此能在电动机中产生一个旋转磁通势,旋转方向由领先的 Φ_1 轴线转向 Φ_3 轴线,于是电动机转子上的导条将受感应而产生旋转转矩,使电动机起动和运转。罩极感应电动机由于 Φ_1 和 Φ_3 相差的相位角较小, Φ_3 本身又小,所以产生的是椭圆度很大的椭圆形旋转磁通势,起动转矩很小,只能用在轻载起动,即起动转矩小于额定转矩的一半的情况。它的效率和功率因数均较低,但是结构简单,制造方便,成本低,所以常用于小电扇、电唱机、录音机、电动模型及各种轻载起动的小功率电动设备中。

图12 罩极感应电动机的相量图

罩极感应电动机中,由于 Φ_3 总是落后于 Φ_1 ,所以当主绕组和短路绕组的位置一定时,电动机的转向就一定,总是从非罩极部分向罩极部分转动。

罩极感应电动机的机械特性如图13所示。它的起动转矩很小。

罩极感应电动机的定子可以做成隐极式,其冲片形状和一般三相感应电动机相同,主绕组和短路绕组均为分布绕组,它们的轴线在空间相差一定的电角度,短路绕组匝数少,导线粗,且自行短路。

(金放玫)

图13 罩极感应电动机的机械特性

daokaiguan

刀开关 (knife switch) 带有刀形动触头,在闭合位置与底座上的静触头相楔合的配电电器(见低压电器),也称闸刀开关。刀开关主要用于电路中隔离电源或不频繁地接通和分断额定电流以下的负荷。专做隔离电源用的刀开关,也称隔离开关。它处于断开位置时可明显地看出间隙,以确保操作和检修人员的安全。

刀开关通常由绝缘底座、刀形动触头(又称动触

刀)、静触头、灭弧装置和操作机构组成。只作隔离电源用的刀开关则不需要灭弧装置。用于电解、电镀等设备中的大电流刀开关的额定电流可高达数万安,这类刀开关一般采用多回路导体并联的结构,并可用水冷却的方式散热来提高刀开关导体所能承载的电流密度。

刀开关按极数可分为单极式、二极式、三极式,单极式与二极式的可用于直流或交流电路,三极式是为交流三相电路而设计的。按投掷方式可分为单投式和双投式,双投式可用作双电源的转换开关。按操作方式可分为手柄直接操作式和杠杆操作式。杠杆操作的刀开关用于配电柜内,刀开关装在柜中,操作手柄装在柜的面板上,并通过杠杆进行分合操作。

一般刀开关的刀刃分合速度与手柄操作速度有关,有时为了克服由于手柄操作速度过慢而被电弧烧坏刀刃,触刀上设计有速断刀刃,并加装灭弧室,采取这些措施后可提高刀开关的分断能力。刀开关在电路中要求能承载短路电流的冲击,即能承受短路电流的电动力作用和热作用,不致使触头斥开、熔焊或变形。

熔断器式刀开关也是一种刀开关。它将刀开关与熔断器组合在一起,开关的静触头固定在底座或插座上,而开关的动触头由熔断体所组成,用于电路中隔离电源,也能接通和分断电路额定电流,还可作电路的过负荷和短路保护。熔断器式刀开关用途广泛,如用作小型工矿企业的低压配电支路开关,生活用电支路开关,小型电动机的电源开关等。

(方鸿发)

daoshun kaiguan

倒顺开关 (reversible switch) 能倒换电源输出端三相电流相序的开关电器。倒顺开关主要由静触头、动触头、操作机构及外壳构成。静触头一般固定于绝缘材料制成的底座上,动触头则装于附有操作手柄的绝缘转轴上。当扳动手柄时,动触头随转轴一起转动而变更其断通位置,从而改变电源输出端电流的相序,实现了对电动机的倒顺控制。图中示出了由10个静触头、5个动触头组成的倒顺开关原理接线图。

转向	连 接
顺转	1—6 3—8 5—10
逆转	4—9 2—7 5—10

倒顺开关原理接线图

1~5—输入端; 6~10—输出端

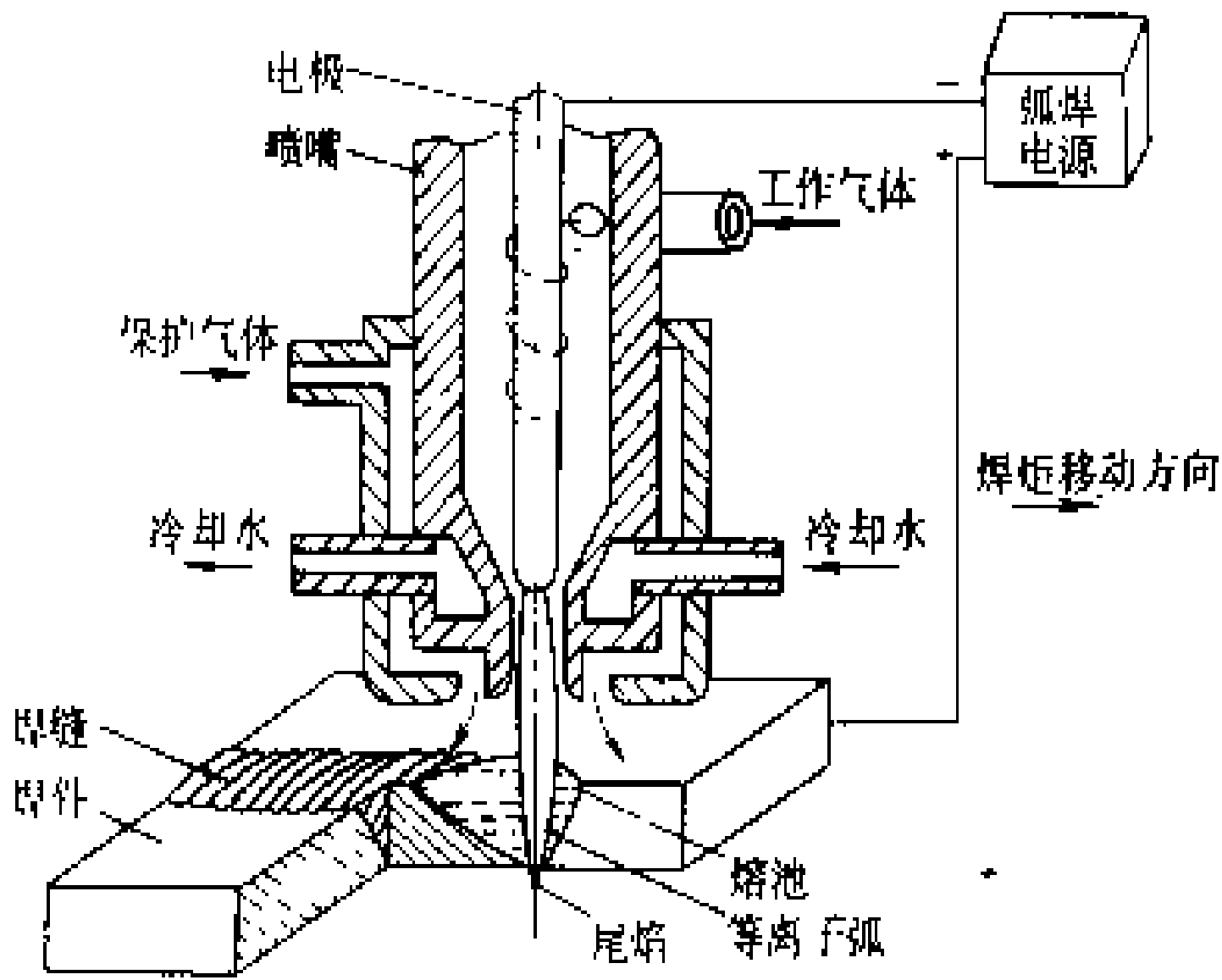
倒顺开关有结构简单、操作及安装方便、造价低廉

等优点,但因接触断通系统无灭弧装置,为防止操作时的电弧短路,仅电极间用绝缘板隔离电弧,从而限制了通断能力的提高,一般仅用于10 kW及以下小型异步电动机的直接起停及倒顺控制。因倒顺开关不能切断故障电流,使用时应与保护电器相配合。为保证操作人员的安全,其金属外壳应可靠接地。

(甘悉云)

dengli zi huhan

等离子弧焊 (plasma arc - welding) 利用电弧等离子体(见等离子加热)作为热源的电弧焊。如图所示,工作气体用来保护电极并产生电弧等离子体,从喷嘴外侧喷出的保护气体用来保护焊接区。焊接时电弧由高频振荡器(图上未示出)在电极与喷嘴间引发,有时也可由电极与喷嘴的接触短路引发并转移到电极与焊件之间(有时在电极与喷嘴间仍保留有电弧)。电极与焊件间的弧柱经喷嘴的机械压缩、气流的热压缩和电流的磁压缩,形成一个截而小、电流密度大、电离度高的弧柱。与弧柱接触处的焊件金属迅速被熔化形成熔池。随着弧柱的移动,熔池冷凝成为焊缝。电极一般用钨极,在某些情况下用水冷铜电极,工作气体用氩、氦与氢或氩与氦的混合气体。保护气体一般用氩。



等离子弧焊示意图(小孔法)

特点和用途 等离子弧焊是在钨极氩弧焊(见气体保护电弧焊)的基础上发展起来的。其特点是:①功率密度高,但这时金属将气化,已不能用于焊接,只用于等离子切割中。200 A 氩弧焊的功率密度只到 $1.5 \times 10^4 \text{ W/cm}^2$;②电弧稳定性好,焊接电流小到0.1 A时,电弧仍能保持良好的挺度和方向性;③允许弧长有较大变化而不致影响焊件的热输入,因此焊工操作方便;④电弧穿透力强、不开剖口能一次焊透12 mm 不锈钢板或钛板(氩弧焊只能焊透约3 mm);⑤焊接速度快;⑥焊件残余应力小,变形小;⑦钨极端头位于喷嘴口

内,焊件不易被钨污染;⑦钨极冷却好,不易被熔化。但因用氩,与一般电弧焊比,焊接成本高。

等离子弧焊可用于碳钢,合金钢,铝、铜、镍、钛及其合金的焊接。充氩箱内的等离子弧焊可用于钨、钼、钽、铌等难熔金属的焊接。

焊接方法 主要有穿透焊、熔透焊和微弧焊三种。

穿透焊 又叫小孔法焊接,焊接电流在 100~400A 范围内。焊接时,熔池前沿有一个穿透小孔,如图所示。熔池金属向小孔后方流动形成单程双面的全焊透焊缝。厚度 2.5~6 mm 的绝大多数金属都可获得小孔效应。穿透焊的焊接规范较严,需要自动焊机施焊。当用脉冲弧焊电源时,可以以较小的平均焊接电流实现穿透焊。

熔透焊 焊接电流在 30~100 A 范围内。焊接中不出现穿透小孔,而靠熔池的热传导实现焊透。厚度 0.8~3 mm 的大部分金属对接或搭接接头都可以用此法焊接,可用手工操作。

微弧焊 又叫微束焊、针弧焊。焊接电流在 0.1~30 A 范围内,所产生的电弧是长针形的,该方法特别适用于厚度为 0.02~1.5mm 的薄件的焊接,一般用手工操作。焊接时,为维持电弧稳定,除电极与焊件间的主电弧以外,还需要用另一个电源在电极与喷嘴间形成一个小电流电弧——维持电弧。

设备 用于等离子弧焊的等离子弧焊机由弧焊电源及其控制部分、焊炬、工夹具和导向用的组装件、气体管路和必要的减压阀、流量计等组成,有手工操作的,也有自动的。弧焊电源应具有陡降特性。

历史和发展 等离子弧焊是 1957 年美国 R. 盖奇(R. Gage)发明的。早期的等离子弧焊是大电流的,焊机用机械操作。到了 70 年代,电流小到 0.1 A 的小型手工操作的微弧焊机投入使用。现在,等离子弧焊已在航空、航天、核能等高新技术工业部门中作为重要加工手段,并已推广到机械、电子仪器仪表等工业部门中。如用等离子弧焊焊接导弹壳体、喷气发动机部件、飞机铝合金件等。微弧焊已广泛用于薄钢带、薄壁管、屏蔽套、汽车蒙皮、波纹管、膜盒、热电网、灯丝组件和真空管器件等的焊接。在等离子弧焊基础上发展起来的等离子弧—熔化极气体保护焊可提高焊接效率和焊接速度,改善焊缝质量,将使等离子弧焊的应用范围进一步扩大。

(周亮生 蒋聪吉)

denglizi jiaore

等离子加热 (plasma heating) 利用工作气体电离形成等离子体的高温等离子体中自由电子与正离子复合时释放的能量进行加热的方法。工作气

体根据使用要求用氮、氢、氩、氦,或氮和氩、氩和氢的混合气体等。在化学工业中,工作气体也可能是某种参与化学反应的气体。

等离子体是气体电离后形成的物体,由未电离的气体分子和原子以及总电荷量相等的正离子、自由电子和负离子组成。其聚集态列在固态、液态和气态之后,称为物质的第四态。等离子体在总体上呈中性,但有一定的电导率,其运动主要受电磁力的支配。它常有很高的温度,因而促使分子或原子电离的能量当正离子和电子等复合时以热能为主要形式释放出来。气体电离的程度愈高,等离子体的温度也愈高。天然等离子体在地球上虽不多见,但却是宇宙空间物质存在的一种主要方式。

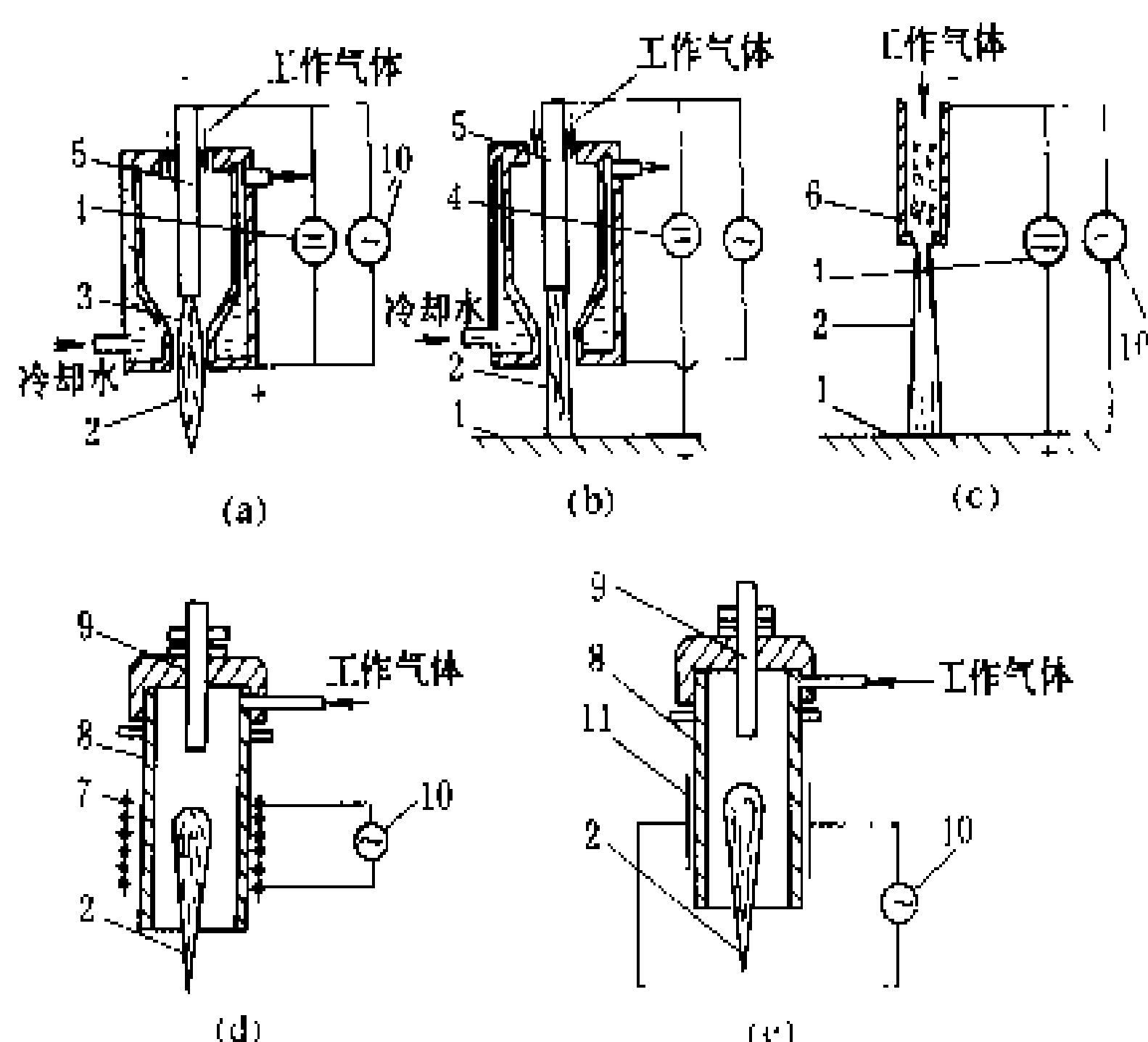
特点 等离子加热的特点:①温度高;②功率密度大,热量集中;③等离子体一般呈中性,可避免物料的氧化和还原,还可在真空或控制气氛中加热;④等离子体可有极高的流速,有利于某些作业如切削、喷涂等的进行;⑤与电子束加热和激光加热比,设备和生产费用都较低,更适合于碳钢、低合金钢等一般材料的加工;⑥易于与其他加热方法(如感应加热、燃料加热等)配合,取长补短;⑦正、负离子可促使很多化学反应产生;⑧用不同工作气体可获得不同化学活性的等离子体;⑨能用磁场控制等离子体的分布和运动,有利于化工过程的进行;⑩高频等离子体洁净,加热时不会使物料受污染等。

设备 由等离子枪、电源、加热装置、控制系统、气路系统和冷却系统等组成。电弧等离子枪的电源一般用具有陡降外特性的直流电源,正接(见弧焊电源);也有用三相交流电源的。其空载电压:用于机械加工的一般在 75~400 V 范围内,用于熔炼的可高到 3000 V 以上,高频等离子枪的电源通常用高频电子管振荡器,频率在 0.4~75 MHz 范围内。加热装置随设备用途而异,如:等离子熔炼炉的具有耐火材料炉衬(见炼钢电弧炉)或水冷结晶器(见真空电弧炉)的炉体;等离子切割和喷涂装置的工作台或工作小车;化工生产用的反应罐等。

分类 在工程上应用的等离子体分高温等离子体和低温等离子体两类。在工程中,高温约 3000~30000℃,低温一般不超过 1000℃(在物理学中,高温约在 10^5 K 以上)。前者由等离子枪产生,用于物料的燃烧;后者则是在真空条件下,用高压电场或灯丝电子发射等方法,使工作气体电离成低温等离子体,利用其正离子对材料进行表面处理。

高温等离子体加热 用于对高温等离子体进行的电加热。高温等离子体,也称等离子发生器、等离子体炬等,有电弧等离子枪和高频等离子枪两种。等离子枪

的工作原理如图所示。在图(a)中,阴极(通常用钍钨或铈钨电极)与作为阳极的铜喷嘴之间产生由工作气体弧光放电而形成的电弧。电弧等离子体由于工作气体的压力和喷嘴口的压缩而形成小直径的流束,其温度在 3000°C 以上,气流速率一般在 10 m/s 以上,可高达 5000 m/s 。因为电弧没有转移到被加热物料上,所以叫非转移弧式。图中的高频电源用来引发电弧,电弧形成后即断开。



等离子枪原理示意图

(a) 非转移弧式; (b) 转移弧式; (c) 中空阴极式;

(d) 高频感应式; (e) 高频电容式

1—被加热材料; 2—等离子焰; 3—电弧; 4—直流电源;
5—钍或钍钨阴极; 6—中空阴极; 7—高频线圈; 8—绝缘筒(如石英管); 9—引燃电极; 10—高频电源; 11—极板

在图(b)中,电极与喷嘴之间产生的电弧在生成后即被转移到接电源阳极的物料上,所以叫转移弧式。在阴极与物料间的电弧由于机械压缩效应(由喷嘴口引起)、热收缩效应(由于弧柱中心比其外围温度高、电离度高、导电率大,电流自然趋于弧柱中心)和磁压缩效应(由弧柱本身的磁场引起)三者的联合作用,而受到强烈压缩,弧柱变得细长(细如针,也可长到 1 m 以上)。在与弧柱内部膨胀压力保持平衡的条件下,弧柱中心气体高度电离,其温度可达 $10000\sim 52000^{\circ}\text{C}$,气流速度可高达 10000 m/s 。转移弧等离子枪在等离子加热中用得最广。在实际应用中,有时除阴极与物料之间的电弧——主电弧外,仍保留阴极与铜喷嘴间的电弧——维持电弧。两者合称混合弧。

图(c)所示等离子枪用钽管作阴极。钽管内的工作气体先由高频电源电离,生成的正离子轰击钽管,使其温度上升,自行发射电子。阴极与物料间的等离子弧与转移弧类似。钽比钨更容易发射电子,但易氧化,须在真空中工作,因此,供给物料的能量中有较大部分由

阴极发射的电子束提供。除图示者外,电弧等离子枪(或装置)还有其他型式,如石墨中空阴极式、石墨套管式、三相石墨电极式等。

在图(d)和(e)中,工作气体分别通过高频感应线圈和电容式电极激发电离,所生成的等离子体可由喷嘴喷出形成等离子体焰,也可留在工作区内供加热物料用。高频等离子体的优点是不受电极材料的污染,但生产成本低,发生器功率小,用得较少。

低温等离子体 主要用于材料表面处理。有离子渗、离子溅射、离子蒸镀、离子刻蚀、离子注入等。

(1) 离子渗:用来在工件表面渗入氧、碳、硫、硼或进行碳氧共渗、硫氮共渗、碳氮氧共渗等,以提高工件的耐磨、耐蚀和抗疲劳性能。其中以离子渗氮用得最普遍。所用设备叫离子氮化炉。工作时,工件接阴极,炉壳等接阳极,先抽真空,然后送入氨或氨氮混合气体,在 $400\sim 800\text{ V}$ 电压下,炉内气体辉光放电,产生等离子体。其中的氮正离子轰击工件使其温度升高(到 $500\sim 560^{\circ}\text{C}$),同时进入工件表面并向内部扩散形成渗氮层。离子渗碳在真空碳炉内进行,送入的是甲烷,电离后得到碳离子,须以电阻加热辅助,使工件达到 $1200\sim 1250^{\circ}\text{C}$ 。渗其他元素或多元素共渗情况类似。

(2) 离子溅射:分阳极溅射和阴极溅射两种。工作气体主要用氩。

阳极溅射用于离子镀膜。工作时,工件接阳极,成膜物质接阴极。氩电离成等离子体后,氩离子经高压($1\sim 4\text{ kV}$)加速,轰击阴极,使成膜物质以分子状态溅射并沉积在工件表面上。也可以进行反应溅射,即将反应气体(O_2 、 N_2 、 H_2S 、 CH_4 等)加入氩中,反应气体及其离子与工件原子和溅射原子发生反应生成化合物(如氮化物、氧化物)而沉积在工件表面。阳极溅射主要用于电子工业中(如在半导体基片上镀膜)和机械工业中(如在工件表面镀 TiC 、 WC 等耐磨层)。

阴极溅射主要用于电子工业,用来对半导体基片表面进行清洗、抛光、磨削、减薄等。工作时,基片接阴极,氩离子轰击基片表面,起到清洗等作用。

(3) 离子蒸镀:是真空蒸发和阴极溅射技术的结合。工作时,工件接阴极,成膜物质接阳极,成膜物质用其他热源(如电阻热、电子束等)加热,所产生的蒸气电离成等离子体。其正离子经高压($1\sim 5\text{ kV}$)电场加速轰击工件而沉积在工件表面。氩正离子有清洗工件表面作用,可使膜层附着力大为提高。类似的方法还有活性离子蒸镀、高频离子蒸镀、空心阴极离子蒸镀等。

(4) 离子刻蚀:工作原理与阴极溅射类似,但更精细,设备更复杂。工作气体通常用氩。由于氩离子直径只有零点几纳米($1\text{ nm}=10^{-9}\text{ m}$),可以认为刻蚀是对

逐个原子的剥离,剥离速度约每秒一层到几十层,是一种纳米级加工,可用来刻蚀出分辨率极高的图形,刻蚀精度是任何其他加工方法都无法达到的。例如,能在10 nm厚的膜上刻出8 nm的线。离子刻蚀用于集成电路、声表面波器件、磁泡器件、超导器件、光集成器件等微电子器件的高精度刻蚀。

(5) 离子注入:用来把正离子经高压(10~800 kV)加速,“打进”接阴极的工件内(注入深度一般在1 μm以内)。在电子工业中用于半导体渗杂,在机械工业中用来把选定的原子(He、N、C、B、Al、Ti、Cr、Ni、Co、Mo等)注入机械零件表面以提高其机械性能。

应用 等离子加热用于冶金、机械、化工、电子、航空等许多工业部门。

在冶金工业中,等离子加热用于炼钢,炼钛,处理炼钢电弧炉等废气中的粉尘以回收合金元素,与感应熔炼炉配合以强化精炼过程,加热为连铸机提供钢水的钢水包等。设备以有耐火材料炉衬的等离子炼钢炉用得较普遍,最大容量已到45 t(1983年在奥地利投产,用4支6 MW直流等离子枪),具有金属收得率高、噪声低、无电压闪变等优点,生产成本可低于炼钢电弧炉,但限于枪的输出功率,炉子容量尚小。等离子加热用于处理炼钢电弧炉的粉尘时,有的粉尘不必预先烧结、炉子密封性好、可确保炉内的还原条件、操作方便、设备和生产费用低等优点,已有较大发展。

在机械工业中,等离子加热用于焊接(见等离子弧焊)、切割、喷涂(包括堆焊)和金属表面处理等。等离子切割现在主要用于不锈钢、高合金钢、铸铁、铜、铝及其合金、钨、钼等,有逐步应用于碳钢和低合金钢的趋势,另外还用于矿石、水泥板、陶瓷等非金属材料的切割。它有切口窄、切割边质量好等优点,切割厚度可达150~250 mm。20世纪70年代后期还发展了双层等离子切割、微弧等离子切割、喷水等离子切割等。通常切割金属薄板和非金属材料用非转移弧,切割金属厚板用转移弧。等离子喷涂分粉末等离子喷涂和填丝等离子喷涂两种,以前者用得较多。等离子喷涂用于工件表面喷涂耐高温、耐磨蚀的高熔点金属或非金属材料,以提高工件表面的机械性能,或对受损工件进行堆焊修补。粉末等离子喷涂主要用非转移弧,有时用混合弧。等离子喷涂有工件变形小、喷涂层平滑整齐,易实现机械化、自动化等优点,已广泛用于阀门、模具,以及电站、化工、石油机械上耐磨耐蚀件的制造和维修。

在化学工业中,等离子加热用于制取乙炔、硝酸、联氨、炭黑等化工产品,合成高温碳化物、氮化物和硼化物(如碳化钨、氮化钛),制取超细粉末(如0.01~1 μm的三氧化二铝、二氧化硅和氧化硅粉)等。高频等离子体用于制取高纯材料,如石英玻璃、单晶、钛白

粉等。

另外,等离子加热还在航空工业部门用于加热风洞中的空气,在建筑工业中用于喷饰建筑物外表面等,应用面很广。

历史和发展 等离子加热的工业应用始于20世纪50年代。当时,美国首先把等离子加热用于切割和焊接,联邦德国成功地从甲烷和其他烃类在氢等离子体中热解制取乙炔。60年代等离子加热的应用推广到了冶金和其他工业部门。60年代末美国制成迄今世界上最大的电弧等离子体发生器,功率52 MW,供加热风洞中空气之用。七八十年代等离子加热在冶金、化工等领域中取得进一步发展。中国从60年代开始等离子加热的应用,首先在切割和喷涂等方面。70年代中制成几台电弧等离子体铸钢熔炼炉,枪的功率最大到约400 kW。近年来用于铁合金生产,枪的功率已到1 MW左右。

等离子加热的发展方兴未艾。从含锌材料中提取锌,从精选矿生产铬铁、锰铁、硅铁和其他铁合金,重熔冲天炉废料,煤的气化,与高炉的配合使用,许多等离子切割、喷涂、堆焊、表面热处理新工艺等,都在开发、推广中。

参考书目

过增元等编著,电弧和等离子体,北京:科学出版社,1986

(蒋聪吉)

diguanliang diandongji

低惯量电动机 (low-inertia electrical machine)

采用专门的措施减小转子转动惯量的控制电机。其工作原理与同类型的伺服电动机相似。由于低惯量,使电动机灵敏度高,机械过渡过程短,控制系统准确性好。常用的低惯量电动机有低惯量套筒形转子电动机和低惯量无槽直流电动机两种。

低惯量套筒形转子电动机 图1所示为低惯量套筒形转子电动机

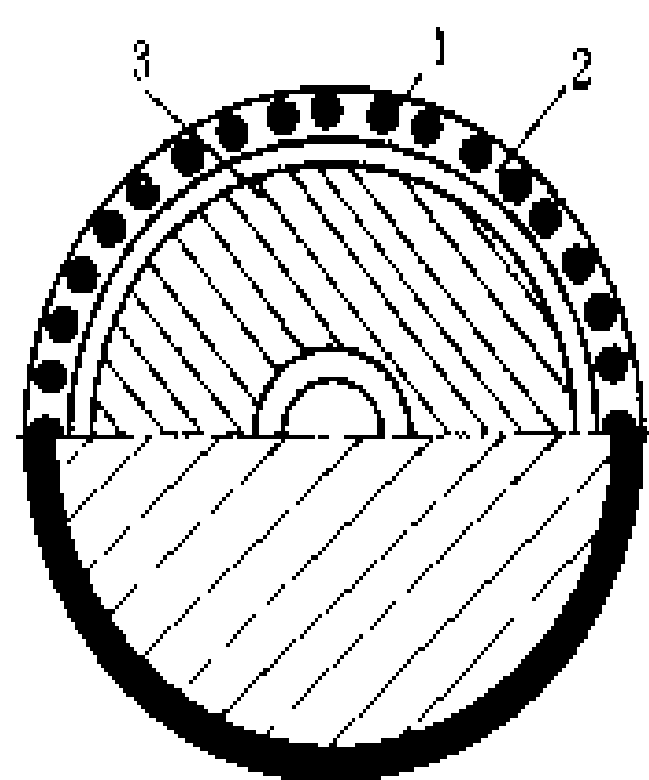


图1 低惯量套筒形转子电动机结构示意图

1—铝导条; 2—套筒;
3—内定子铁芯

筒形转子电动机电枢的结构示意图。这种电动机由套筒形笼型转子和装在套筒内的内定子铁芯两部分组成。套筒形转子有一个用电工钢制成的空心套筒和嵌在套筒上的一些铝质笼型导条,套筒两端由法兰盘固定在输出轴上。内定子铁芯用硅钢片叠成,两端用滚珠轴承支撑在输出轴上,可以自由转动。它

和输出轴之间只有轴承中产生的摩擦阻力,因此由内定子铁芯所增加的转动惯量主要取决于套筒形转子。这种转子比杯形转子机械强度高,功率可大为增加。由于在套筒两边有两个气隙,转子结构复杂,制造困难。

低惯量无槽直流电动机 这种电动机尽量选用较小的电枢直径,采用无槽电枢结构,如图2所示。无槽电枢的铁芯先用绝缘带缠绕一层,然后用环氧树脂将绕组固定在电枢表面上,再缠绕一层绝缘带,其机械强度与有槽电枢相近。

由于电枢无槽,不必考虑气隙磁密因齿磁密过高而受到限制,设计电动机时可选取较高的气隙磁密,使无槽电枢铁芯减小,一般比有槽电枢大约可减少一半;

又由于电枢绕组固定在不槽电枢表面上,冷却效果较好,设计时可选取较高的电流密度、截面较小的导线,这使电枢重量减轻,转动惯量降低;此外,还由于电枢绕组固定在电枢铁芯表面上,绕组的电感较小,使电抗电动势减小,从而改善了电动机的换向,减小了电动机的机电时间常数,快速响应好。

(金啟政)

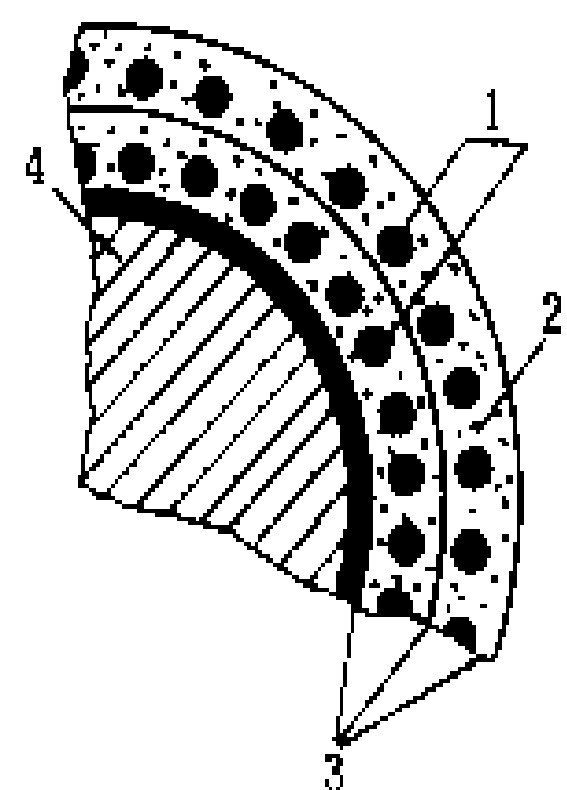


图2 低惯量无槽直流电动机电枢结构示意图

1—绕组; 2—环氧树脂; 3—绝缘带; 4—铁芯

阀片电阻的阻值则变得很小,可顺畅地将雷电流泄入大地;当工频电流通过时,火花间隙可隔断工频电流,阀片电阻此时阻值很大,相当于开路。

氧化锌避雷器 又称压敏避雷器。其基本工作元件是以氧化锌(ZnO)为主,添加三氧化二铋(Bi_2O_3)、三氧化二钴(Co_2O_3)、二氧化锰(MnO_2)、三氧化二锑(Sb_2O_3)等金属氧化物烧结制成的多晶半导体陶瓷非线性阀片。其阀片特性比阀型避雷器的更好,在工频电压下呈现很高的电阻,续流极小,不需要间隙就可隔断工频电流;在雷电流通过时,则阻值为零,顺利地把雷电流泄入大地。氧化锌避雷器结构简单、体积小、通流容量大、可靠性较高,已在电力系统中使用并有取代其他型式避雷器而成为配电系统中主要过电压保护电器的趋势。

(李朝阳)

diya chengtao peidian zhuangzhi

低压成套配电装置 (low-voltage complete sets switchgear)

依照设计的不同电路接线图,将所需用的低压电器、保护电器、测量仪表及辅助设备组装在标准规格金属箱体内构成的一种低压配电装置。低压成套配电装置一般置于屋内,用于在低压配电系统(见低压配电)中接受电力和分配电能,具有结构简单、设备布置合理紧凑、体积小、运行维护方便、工作可靠、便于现场拼装且安装工期短等优点,因而被广泛使用。

低压成套配电装置通常由制造厂批量生产,备有各种不同功能的电路接线方案,用户可根据实际工程的需要选择并拼装成完整的配电电路。一般制造厂可提供上百种典型的定型电

路接线方案,如进线方案、馈线方案、联络线、避雷器以及照明接线等。

低压成套配电装置按结构可分为:①屏式(又称盘式),如配电屏、控制屏、保护屏、信号屏、直流屏等;②台式,如控制台、集控台等;③柜式,如计量柜、配电柜等;④箱式,如照明箱、动力箱等。按屏、台、箱、柜在低压配电室的

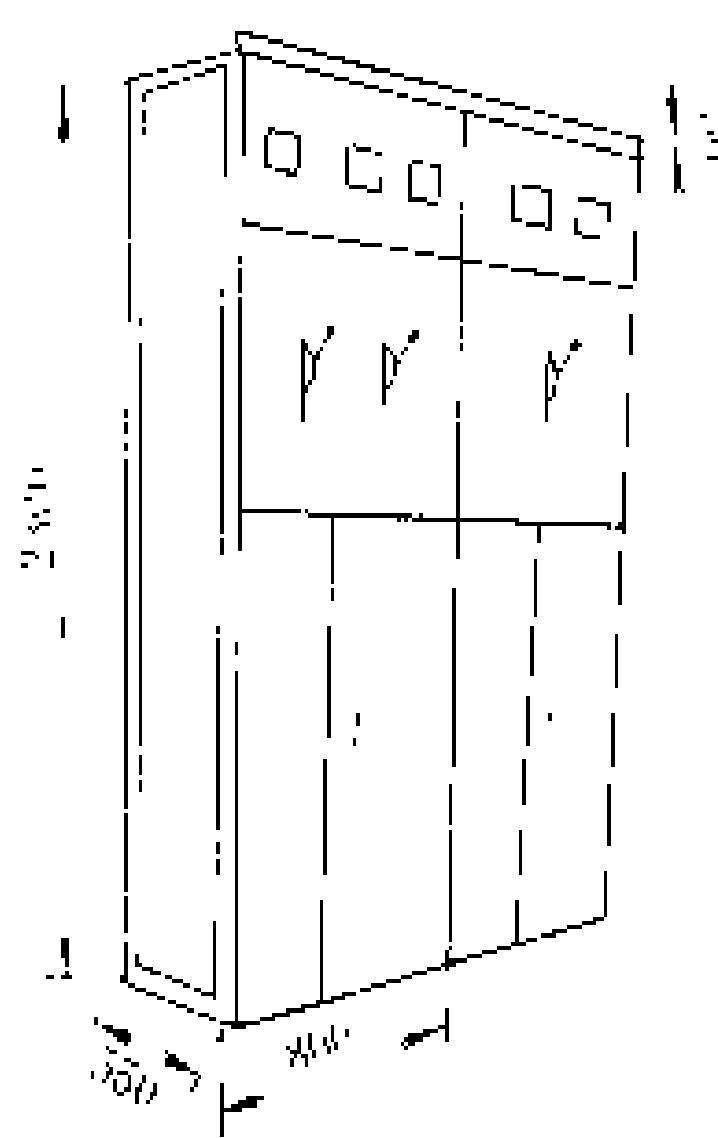


图1 配电屏

安装位置又有依墙式和双面维护式之分;而箱式结构的布置亦有嵌入式、悬挂式及直立式之别。

配电屏 系使用最为广泛的一种屏式低压成套配电装置(见图1),为开启式双面维护的金属框架结构,

diya bileiqi

低压避雷器 (low-voltage arrestor)

在低压配电系统(见低压配电)中用于防止雷电侵入和电路操作而引起的过电压危害电气设备绝缘的电器。低压避雷器用于交直流低压配电系统中,通常与被保护设备并联且一端接地。如与母线、电机、变压器(在低压侧)以及电子器件(如晶闸管)并联,当过电压值达到规定的动作电压时,避雷器立即动作,释放电荷,吸收电路中的过电压浪涌,限制过电压幅值,以免设备损坏。避雷器的工作原理系利用阀片的非线性伏-安特性,当工频正常持续电流通过时,显示出较大的阻值,相当于开路状态(阀片电阻为无穷大),而当出现数值较大的过电压时,显示出较小的阻值,相当于短路状态(阀片电阻近似为零),从而把雷电流泄入大地,确保被保护设备的安全。采用最多的低压避雷器有阀型避雷器和氧化锌避雷器。

阀型避雷器 主要由装设在密闭瓷套中的火花间隙和阀片电阻串联组成。阀片电阻是由金刚砂(SiC)、水玻璃(Na_2SO_3)和石墨(C)等烧结而成的饼状电阻。当雷电流通过或出现操作过电压时,火花间隙被击穿,



由角钢和薄钢板焊接而成,型式多样且已标准化。屏的正面分为仪表板、操作板和门。电气设备依照电路接线图进行连接,装在屏后而在屏前操作。屏后左右两侧设有接线端子排,以便实现屏内或屏与屏之间的电气连接。当多台屏并列使用时,屏与屏之间应加防护隔板,以减小因故障而造成扩大事故的范围。在一列屏的始端与终端需设防护边屏。

控制台(集控台) 大、中型变配电所专门用作监控的低压成套配电装置,除有较低的全封闭式直立屏外,屏前带有金属封闭结构的桌式控制台(集控台)(见图2)。台正面布置指示仪表和信号光字牌,台面上布置有模拟电路、控制开关及位置指示灯等。大容量的变电所或配电所往往把控制台(集控台)与返回屏联合使用,以改善运行人员的值班监控条件。

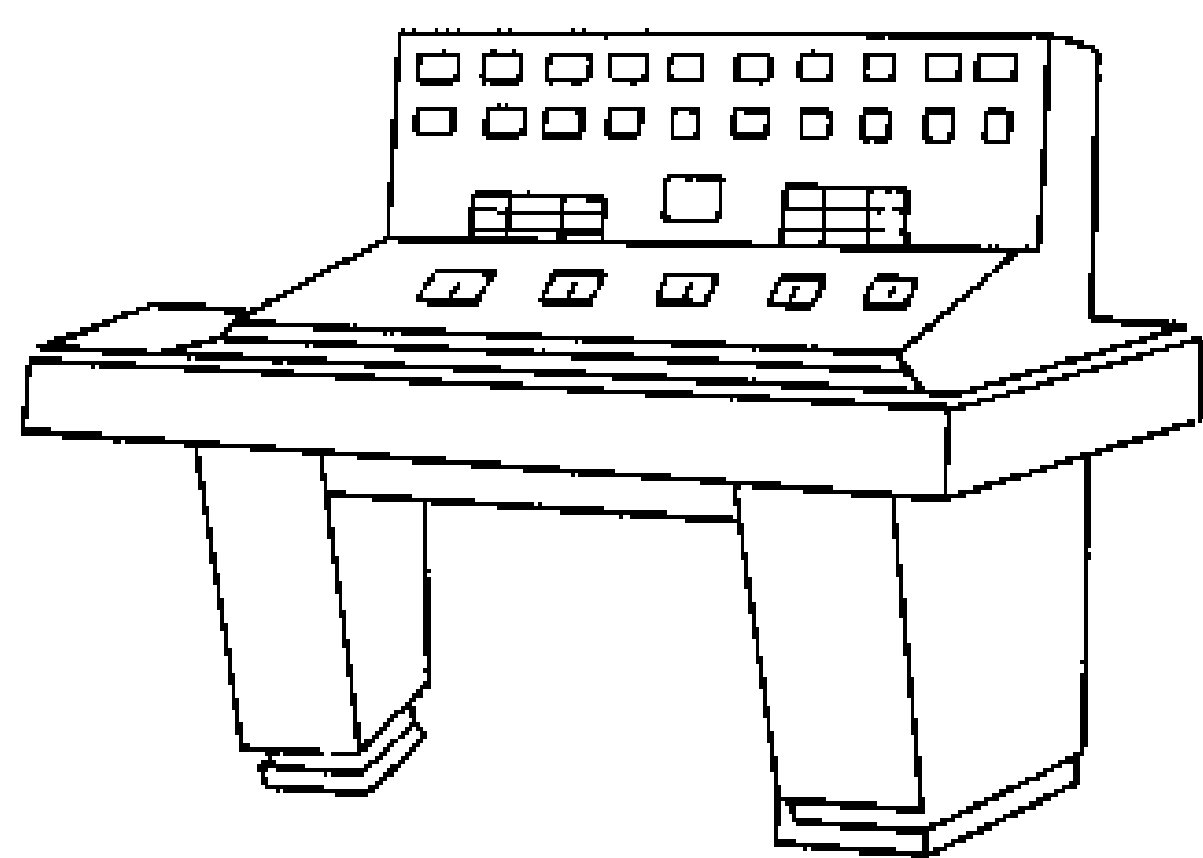


图2 控制台(集控台)

照明箱(柜)及动力箱(柜) 常用的动力箱(柜)和照明箱(柜)是专门用来向电动机或照明设备直接供电的小型、简单的配电装置。箱、柜的大小按电路功能和用途的不同制作和设置。一台箱(柜)体内,通常只有一路进线(单相电源或三相电源)、多路馈线。箱(柜)的设置可独立地安装在工矿企业的车间、工地、居民点以及农、副业加工等低压配电系统中。

(李朝阳)

diya dianlan xianlu

低压电缆线路 (low-voltage cable) 采用电缆的低压线路。电缆由线芯、绝缘层、保护层构成。电缆的种类很多,低压电缆线路主要使用的是低压电力电缆。低压电缆线路常用的敷设方式有:①直接埋地;②敷设于电缆沟内;③沿墙敷设等。低压电力电缆的型号主要根据使用的环境条件和敷设方式进行选择。电缆线路与架空线路相比虽然造价较高,敷设维护较为困难,但由于它具有运行可靠、不架电杆、不占地面、不碍观瞻、受外界影响较小等特点,所以在低压配电系统中得到广泛应用。低压电缆线路主要用于对供电可靠性要求较高,有腐蚀性气体和易燃、易爆等不宜架设架空线路的地方。

电缆基本结构 由线芯、绝缘层和保护层三部分构成。

线芯 线芯用于传导电流,一般由多股铜线或多股铝线绞合而成。低压电缆有单芯、双芯、三芯、四芯等几种。双芯电缆用于单相线路,三芯和四芯电缆分别用于三相三线制线路和三相四线制线路,单芯电缆可以按需要应用于单相制线路或三相制线路。常用的低压电缆线芯截面积有10, 16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185, 240 mm²等。

绝缘层 电缆中具有耐受电压特定功能的绝缘材料。绝缘层分为芯绝缘和带绝缘两种:包覆在线芯上的绝缘称为芯绝缘;多芯电缆的绝缘线芯合在一起再加覆的绝缘称为带绝缘。带绝缘与保护层隔开形成可靠的对地绝缘。绝缘层通常采用油浸纸、塑料、橡皮等制成。

(1) 纸绝缘层电缆是由浸渍后的电缆纸作绝缘层的电缆,总称为纸绝缘电缆,应用最广。根据纸浸渍的情况可分为:①油浸纸绝缘电缆;②干绝缘电缆;③不滴流电缆。

(2) 绝缘层由热塑性塑料挤包交联制成的电缆,总称为塑料电缆。塑料电缆可分为聚氯乙烯电缆、聚乙烯电缆和交联聚乙烯电缆等三种。用天然丁苯橡皮、丁基橡皮和乙丙橡皮等材料作绝缘层的电缆称为橡皮电缆。电压等级为1 kV的低压电缆可采用纸绝缘电缆和塑料电缆,较多采用塑料电缆;电压等级为0.5 kV的低压电缆多采用橡皮电缆。

保护层 电缆外面的一层或几层金属或非金属材料的覆盖层。保护层用于保护绝缘层在运输、敷设及使用过程中,不受外力的损伤和水分的侵入。

(1) 纸绝缘电缆保护层。纸绝缘电缆保护层分为内护层和外护层两部分。内护层直接挤包在绝缘层上,除保护绝缘不受潮湿外,还有防止绝缘油外流的作用,并具有一定的机械强度。内护层有铅包、铝包和聚氯乙烯包三种。外护层是保护内护层的,以增加电缆承受机械外力和防腐蚀能力。外护层包括内衬垫层、金属铠装层和外被层。内衬垫层保护金属护套不被金属铠装层损坏,可附加防腐措施;金属铠装层可承受机械外力;外被层可保护铠装金属不受外界腐蚀。

(2) 塑料电缆保护层。通常在塑料绝缘外采用聚氯乙烯护套。

(3) 橡皮电缆的保护层。橡皮电缆的保护层分内护层和外护层。内护层有聚氯乙烯护套、氯丁橡皮护套(非燃性橡皮)和铅包三种;外护层分为钢带铠装、橡皮护套和塑料护套三种。

电缆选择 电缆的选择主要有电缆型号选择和电缆截面选择。



型号选择 电力电缆型号选择,应根据环境条件、便,不能可靠地防止外来的机械损伤,易受腐蚀。直接敷设方式、用电设备的特殊要求等因素来确定,一般按下列原则考虑:

(1) 在一般环境和场所宜采用铝芯电缆,但在振动激烈和特殊建筑物以及有特殊要求的场所,应采用铜芯电缆。

(2) 埋地敷设的电缆,一般采用有外护层的铠装电缆。在无机机械损伤可能的场所,也可采用塑料护套电缆和带外护层的铅(铝)包电缆。

(3) 在有化学腐蚀或杂散电流腐蚀土壤中,应尽量不采用埋地敷设电缆。如果必须埋地敷设时应采用防腐型电缆。

(4) 敷设在管内或排管内的电缆,一般采用塑料护套电缆,也可采用裸铠装电缆。

(5) 在电缆沟或电缆隧道内敷设的电缆,不应采用有易燃或延燃的外护层。一般采用裸铠装电缆、塑料护套电缆和裸铅(铝)包电缆。

(6) 当电缆敷设在较大高差的场所时,宜采用塑料绝缘电缆、不滴流电缆和干绝缘电缆。

截面选择 电缆的截面积应根据下面四个条件选择:①按发热条件选择;②按允许电压损失选择;③按机械强度条件选择;④按与线路保护(装置)设备配合选择。(见低压线路)

电缆敷设 敷设电缆时,主要考虑敷设方式和敷设要求。

敷设方式 低压电缆常用的敷设方式有直接埋地敷设、电缆沟敷设和沿墙敷设等几种。

(1) 直接埋地敷设。沿同一路径敷设的电缆根数不多于8根时,应尽量采用直接埋地敷设。其埋设深度不应小于700mm,穿越农田时不应小于1m,并在电缆上下各均匀铺设100mm厚的细砂或软土,然后覆盖混凝土保护板(见图1)。直接埋地的电缆之间及各种设施平行或交叉的净距不应小于表1的数值。电缆通过建筑物、铁路、道路等地段时应穿管保护。直接埋地敷设,施工方便、节省费用且散热良好;缺点是电缆检修不方便。

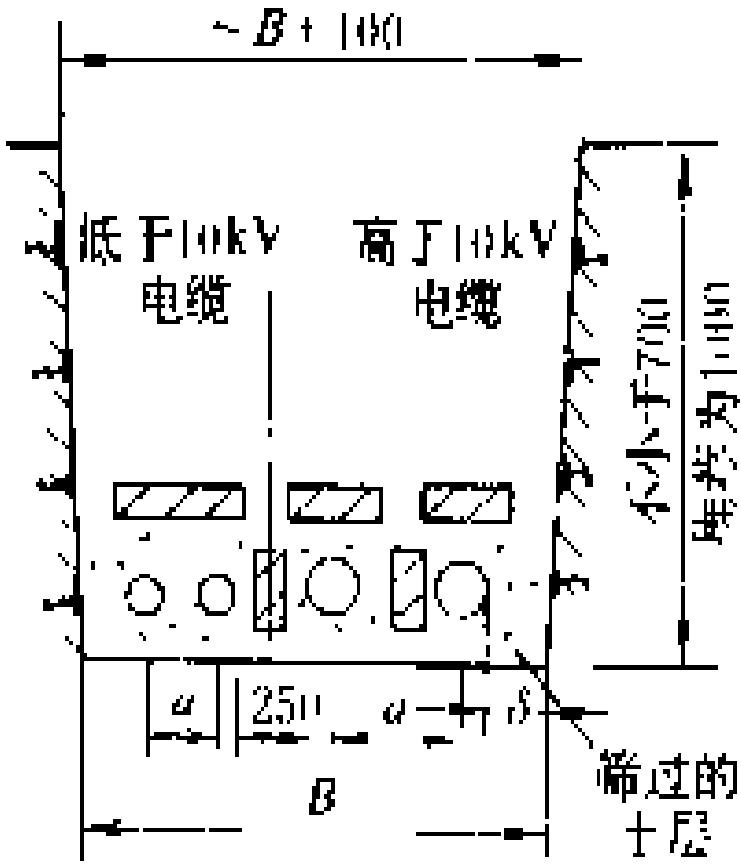


图1 直接埋地敷设电缆

表1 电缆直埋敷设时与其他物件间的最小允许净距

电缆与其他物件的种类		最小允许净距(m)		备 注
		平行	交叉	
电力电缆之间与控制电缆之间	10 kV 及以下	0.10	0.50	(1)当电缆穿管或用隔板时,平行净距均可采用0.1 m (2)在交叉点前后1 m 范围内,如电缆穿入管中或有隔板,交叉净距均可降为0.25 m
	10 kV 以上	0.25	0.50	
控制电缆之间		—	0.50	
不同使用部门之间		0.50	0.50	
电缆与热力管道或设备		2.00	0.50	如无法满足,可在平行区段或交叉点前后1m 范围内采取措施。如与油管道、可燃气体管道等平行或交叉,采用电缆穿管时,净距可降至1.25 m
与油管道,可燃气管道		1.00	0.50	
与其他管道		0.50	0.50	
铁路路轨		3.00	1.00	
公 路		1.50	1.00	
城市街道、厂区通道		1.00	0.70	
建筑物基础(边线)		0.60	—	
电杆基础(边线)		1.00	—	
排水沟		1.00	0.50	

埋地敷设适用于电缆根数不多,且敷设路径较长的场合。

(2) 电缆沟敷设。电缆沟分户内电缆沟和配电装置内的电缆沟及一般户外电缆沟。电缆沟结构见图2。户内电缆沟的盖板与地面铺平。户外配电装置内线的电缆沟的盖板应高出地面,兼作操作走道。一般户外电缆沟,为了不妨碍排水,其盖板一般应低于地面0.3m,上面铺砂子或碎土。电缆沟敷设投资比电缆隧道、排管敷设等要少,检修更换电缆较方便,占地面积小,走线容易、灵活,当电缆沟与地下管

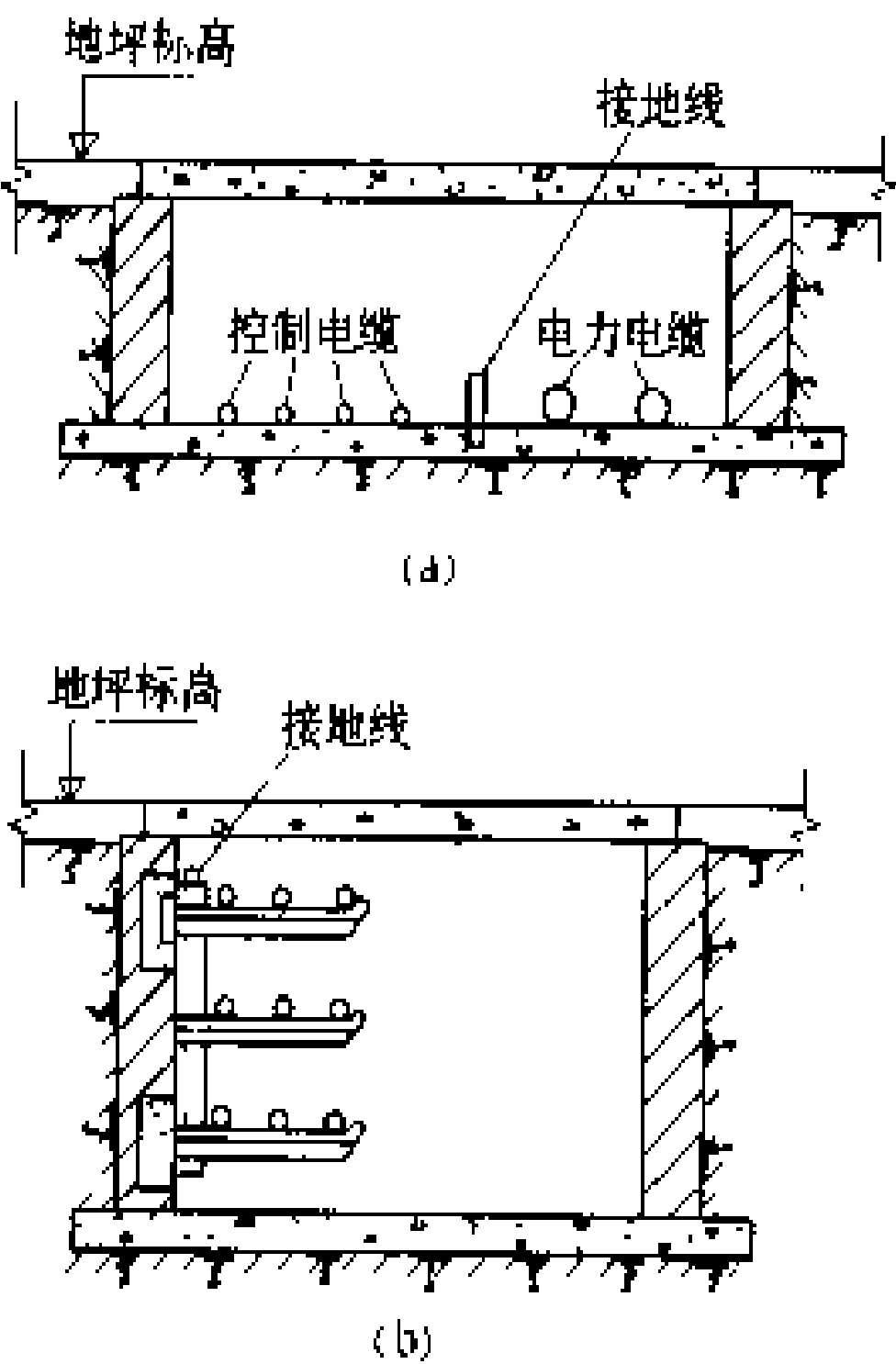


图2 电缆沟敷设断面图
(a) 无支架电缆沟; (b) 单侧支架电缆沟

网交叉不多、同一路径电缆根数不多于18根时，一般宜采用电缆沟敷设。在电缆沟支架上敷设电缆时，电力电缆应放在控制电缆上层，低压电力电缆和控制电缆可以并列敷设。电缆在电缆沟内敷设时的最小净距见表2。

表2 电缆在电缆沟内敷设时的最小净距 (mm)

尺寸名称		电 缆 沟
高度(净距)		不规定,但深度一般不宜超过800
通道宽度	双侧电缆架之间净距	500
	单侧电缆架与壁的净距	450
电缆架各层间垂直净距	电力电缆,10 kV 及以下	150
	控制电缆	100
平行敷设水平净距	电力电缆	35(但不小于电缆外径)
	控制电缆	不规定
最上排架至顶板净距	电力电缆	150~200
	控制电缆	150
最低排架至沟底或隧道底面净距		50~150

(3) 沿墙敷设。敷设方式见图3。墙上应预埋铁件，电缆的各种支架在电缆敷设前应固定好。电缆沿墙敷设，结构简单，维护检修方便，缺点是受周围环境影响严重，可靠性较差，不够美观，多用于供电距离不很长的低压电缆敷设。

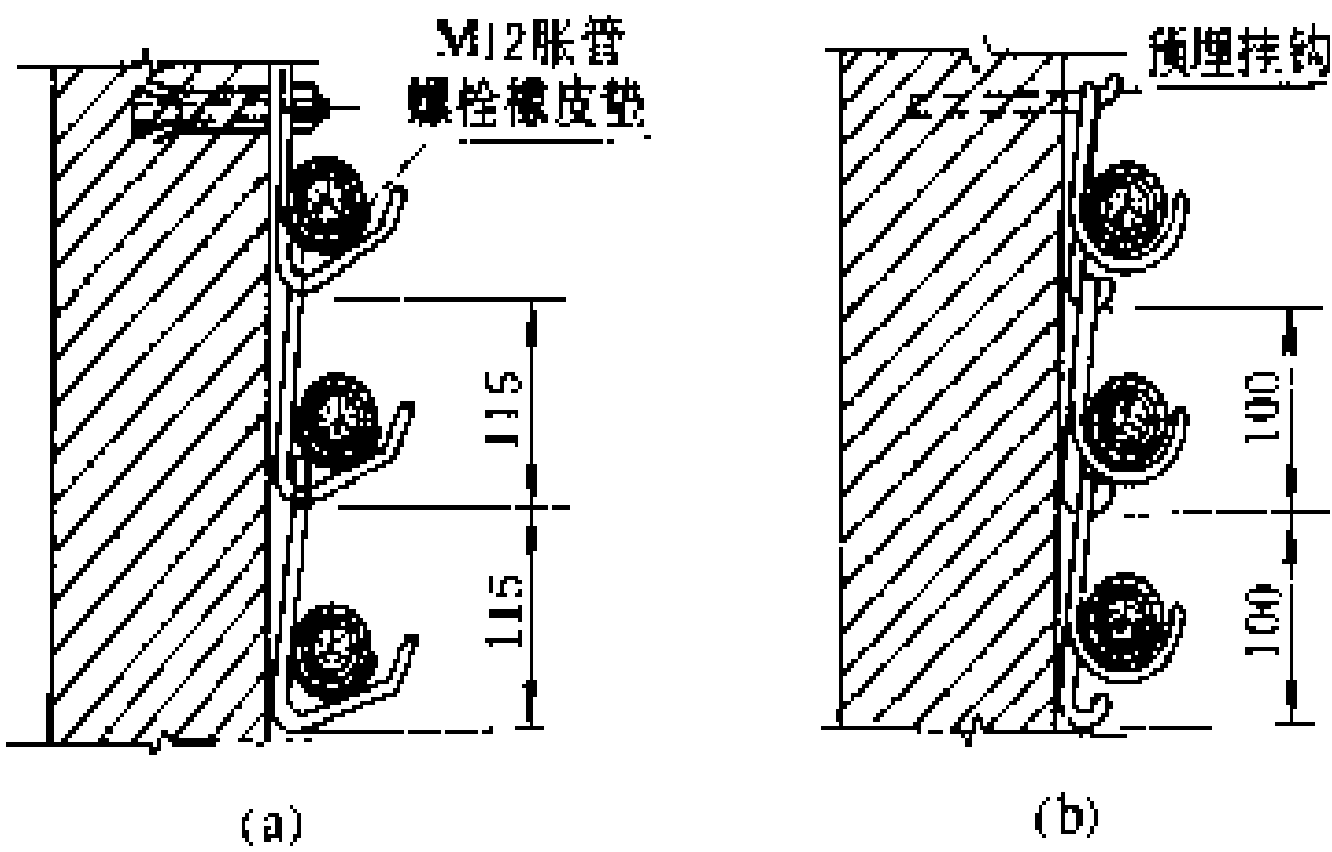


图3 电缆沿墙敷设

(a)扁钢挂架沿墙敷设;(b)圆钢挂架沿墙敷设

敷设要求 敷设电缆应严格按有关规程规定和设计要求进行。一般技术要求如下：

- (1) 电缆敷设时，其长度可考虑留1.5%~2%的余量，作为检修备用。
- (2) 电缆敷设的弯曲半径与电缆外径的比值不应小于表3所列数值。

表3 电力电缆弯曲半径与电缆外径的最小比值

电力电缆种类	最小比值
纸绝缘多芯电力电缆(铅包、铠装)	15
纸绝缘单芯电力电缆(铅包、铠装或无铠装)	20
橡皮或塑料绝缘多芯电力电缆(铠装)	15
橡皮或塑料绝缘多芯电力电缆(无铠装)	6

注：铝包电力电缆按制造厂规定。

(3) 沿坡度或垂直敷设的油浸纸绝缘电缆线路最高点与最低点之间的最大允许高度差，不应超过表4规定。如果油浸纸绝缘电缆敷设的高差超过要求时，可选用不滴流电缆或塑料绝缘电缆。

表4 油浸纸绝缘电力电缆线路最高点与最低点之间的最大允许高度差

电压(kV)	有无铠装	铅包(m)	铝包(m)
1~3	铠装	25	25
	无铠装	20	25

注：不滴流浸渍剂纸绝缘、橡胶和塑料电力电缆的最大允许高度差，不受本表限制。

(4) 电缆引入或引出建筑物或构筑物，穿过楼板和主要墙壁及电缆与道路、铁路交叉等处都应穿钢管保护。钢管内径不小于电缆外径的2倍。

(5) 电缆沟应考虑防火和防水，如在电缆沟进入厂房处设防火隔板，沟底应有不小于0.5%排水坡度。

(6) 电缆的金属外皮、金属电缆头及保护钢管和支架等，均应可靠接地。

电缆线路的运行维护 低压电缆线路一般每季度进行一次定期巡视，并应经常监视其负荷大小和发热情况，遇到大雨、洪水等特殊情况及发生故障时，还应进行特殊巡视和故障巡视。对电缆线路进行巡视检查，一般应注意以下问题：

- (1) 电缆终端头及瓷套管有无破损及放电痕迹。
- (2) 对明敷的电缆，检查电缆外表有无锈蚀、损伤，沿线挂钩或支架有无脱落，线路上及附近有无堆放易燃易爆及强腐蚀性物品。
- (3) 对暗敷及埋地的电缆，检查沿线的盖板和其他覆盖物是否完好，有无挖掘痕迹，线路标桩是否完整无缺。
- (4) 电缆沟内有无积水或渗水，有无杂物及易燃易爆物品。
- (5) 线路上各种接地是否良好，有无移动、断股和锈蚀现象。
- (6) 其他危及电缆安全运行的异常情况。

(唐义治)

diya dianqi

低压电器 (low-voltage apparatus) 用于低压电路中起通断、保护、控制或调节作用的电器。国际电工委员会(IEC)70年代标准规定：交直流电压为1000 V及以下的电器属低压电器。中国规定：交流电压为1200 V、直流电压为1500 V及以下的电器属低压电器。

分类 ①按应用不同分为配电电器和控制电器。配电电器指主要用于配电电路，对电路及设备进行保护以及通断、转换电源或负载的电器。这类电器有刀开关、负荷开关、低压断路器、熔断器等。控制电器指主要用于电力拖动和自动控制系统及用电设备中控制受电设备，使其达到预期要求的工作状态的电器。对控制电器的基本要求是有一定的通断能力、有较高的操作频率、工作寿命长等。这类电器有接触器、起动器、继电器、主令电器、控制器等。②按用途可分为一般用途低压电器、牵引低压电器、矿用低压电器等。③按功能可分为开关电器和非开关电器。开关电器指用于接通或分断一条或几条电路电流的电器。非开关电器中如电阻器、变阻器是用于将电能转换为热能、限制与调节电路电流参数等的电器；如电磁铁是用于将电转换为力的电器。④按有无触头可分为有触头电器和无触头电器（见无触点开关）。

对低压电器通用性能的要求是：有足够的绝缘性能，用产品的耐压强度和绝缘距离来保证；工作时电器的温升应不超过允许值；对开关电器来说有接通、分断及承载能力的要求；对工作于特殊环境的低压电器应有在有关环境条件下（如潮湿、振动、冲击、防爆等）的要求；对不同的电器尚有各自的技术性能要求等。

发展趋势 低压电器将逐步提高额定电压和可靠性，向限流式、小型化、提高性能和机电一体化方面发展。

(1)随着大型负载设备的增加和用电量的增加，为降低线路的损耗，不少国家在矿山、石油、化工企业大力推广660 V电压。20世纪70年代国际电工技术委员会推荐660、1000 V为工业通用电压。中国在矿山工业中已大量使用660 V电压。因而，世界各国低压电器产品的额定电压也将逐步提高。

(2)低压配电系统的容量日益增加，380 V配电系统中的短路电流可达50~100 kA及以上，因此趋向发展限流式电器。它可缩小电器体积和降低成本。

(3)采用微电子技术，扩大电器的品种和提高产品性能。

(4)产品结构的小型化，减小体积和安装尺寸，以实现安装的高密度化，节省材料和降低造价。

(5)对产品的技术性能将逐步提出工作可靠性指标要求。

(方鸿发)

diya duanluqi

低压断路器 (low-voltage circuit breaker)

在交流电压1200 V、直流电压1500 V及以下电路中能自动接通、承载和分断正常电路条件下的电流，也能在所规定的非正常电路条件下（如过载、短路、欠电压）自动接通、承载（一定时间）和分断电流的开关电器，（见低压电器），也称自动空气开关、自动开关、自动断路器。一般用途的低压断路器可用于交流电路及直流电路中，有些断路器专为交流或直流电路而设计，因此它只能适用于某种电路。

低压断路器的主要技术参数有：额定电压、额定电流、额定短路接通能力、额定短路分断能力、脱扣器动作特性等。

结构 低压断路器由触头系统、灭弧系统、脱扣器、机构、框架或外壳等组成。

(1)触头系统。用于通断电路和在接通位置时承载电流。有的低压断路器触头分为主触头和灭弧触头。前者仅用于在接通位置时承载主电路电流，后者用于通断电路时在此触头上产生并承受电弧的作用。

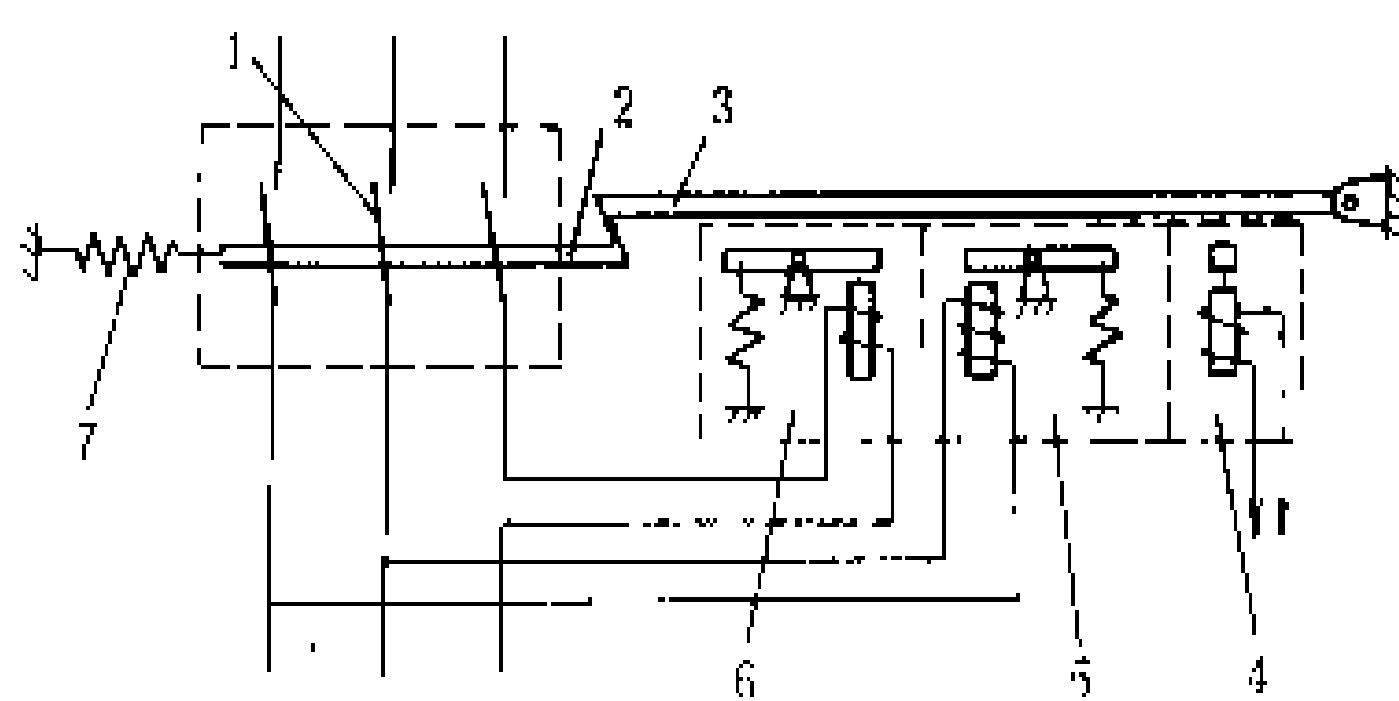
(2)灭弧系统。用于熄灭触头通断电流时产生的电弧。

(3)脱扣器。与断路器机械传动机构相连，用以释放锁扣件并使断路器分断或接通的装置。

(4)机构。包括断路器动作的机械操作和传动机构及防止合闸机构。防止合闸机构用于防止在连锁机构不允许合闸情况下误合闸。

(5)框架或外壳。把以上各部分组合在一起的金属框架或塑料外壳。

工作原理 图中所示为一个三极低压断路器原理

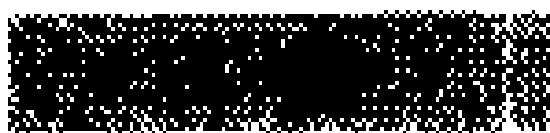


低压断路器原理示意图

1—主触头；2—传动杆；3—锁扣；4—分励脱扣器；

5—失压脱扣器；6—过电流脱扣器；7—分断弹簧

示意图。断路器的主触头串联于三相电路并处于接通状态，传动杆由锁扣钩住，分断弹簧受到拉伸。当电路



电流超过一定值时,过电流脱扣器的衔铁吸合,顶杆向上运动将锁扣顶开,分断弹簧使触头分断。如果电路电压降低至一定值时,失压脱扣器的衔铁释放,使触头分断。图中的分励脱扣器由控制电源供电,可以根据操作人员的命令或其他信号使线圈通电,其铁芯向上运动也可使断路器触头分断。

分类 低压断路器分类方法有以下几种:①按用途可分为配电线路用、电动机用、照明线路用和漏电保护用断路器等。②按级数可分为单极、二极、三极、四极断路器。单极断路器用于交流单相线路,二极的用于单相或两相线路,三极的用于三相线路,四极的用于三相四线制线路;而用于直流电路的仅有单极和二极断路器。③按结构形式可分为框架式、塑料外壳式断路器。框架式断路器系将各部件安装在底板框架上,没有特别的防护外壳;塑料外壳式断路器系将各部件安装在一个封闭的塑料外壳中,结构比较紧凑。④按电流性质可分为交流、直流和交直流断路器。一般的低压断路器可在交流电路及直流电路中工作。在大功率直流电路中需使用直流快速断路器,这种断路器的动作时间极短,灵敏度高,限流能力强,能较好地保护硅整流装置。⑤按有无限流作用分为限流式和非限流式。限流式断路器带有电动斥力快速脱扣机构,分断时间短,电路发生短路时,短路电流还没有上升到最大值,断路器触头已分断,它对短路电流有限流作用,大大减轻了短路电流对电气设备产生的破坏作用。另外,低压断路器还可以按传动方式、脱扣器种类等分类。

发展趋势 低压断路器将向高性能、多功能和智能化方向发展。

(1)除带有一般过负荷、短路保护外,增加接地保护、过负荷报警、动作状态显示等,使断路器功能增加,性能提高。

(2)由于半导体器件的发展,半导体脱扣器将部分取代电磁脱扣器,并进一步采用微处理器脱扣器实现断路器的智能化。如可直接显示各种功能和时间/电流脱扣器整定值,直接显示脱扣器动作的类别和过负荷或接地故障电流脱扣值,监视断路器内部发热和脱扣器内部工作是否正常等。

(方鸿发)

diya jiakong xianlu

低压架空线路 (low-voltage overhead line)

将导线架设在电杆上的低压线路。低压架空线路示意图见图1。由于架空线路具有投资费用低,施工期短,维护检修方便,易于发现和处理故障等特点,所以广泛应用于用电区域分散、环境不十分污秽、用户对供电可靠性无特殊要求的低压配电系统中(见低压配

电)。

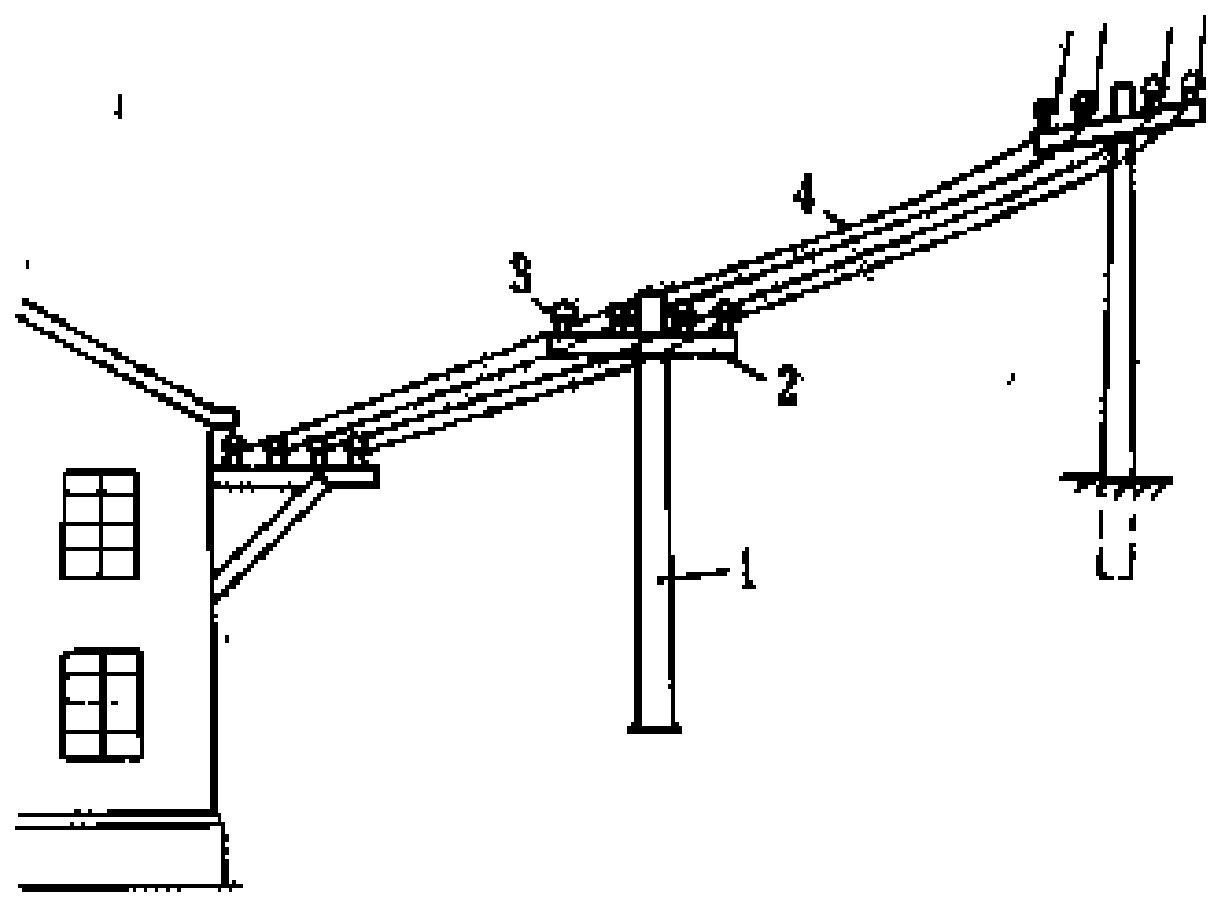


图1 低压架空线路示意图

1—电杆; 2—横担; 3—绝缘子; 4—导线

常用的低压架空线路有架设两根导线的单相二线制线路、架设三根导线的三相三线制线路和架设四根导线的三相四线制线路。每回线路可以单独架设,也可以多回线路同杆架设。为了维修方便和减少停电,同杆架设最多不超过四回线。向重要负荷供电的双电源线路不应同杆架设。为提高架空线路的供电可靠性,减少环境影响,日本等国家在低压架空线路上架设绝缘导线。20世纪90年代中国低压架空绝缘线路也在逐步发展。

线路结构 低压架空线路由导线、电杆、横担、低压绝缘子、金具、拉线等构成。基本结构如图2所示。

导线 低压架空线路一般采用裸导线(没有绝缘层的导线)。裸导线分为单股裸导线和多股绞线两类。单股裸导线机械强度较差,所以架空导线通常使用多股绞线。裸导线的型号和规格由字母和数字组合起来表示。前面字母表示导线材料及主要特性,后面数字表示导线的截面积。例如LJ—50表示截面积为50mm²的铝绞线。常用裸绞线的型号、规格和用途见表1。

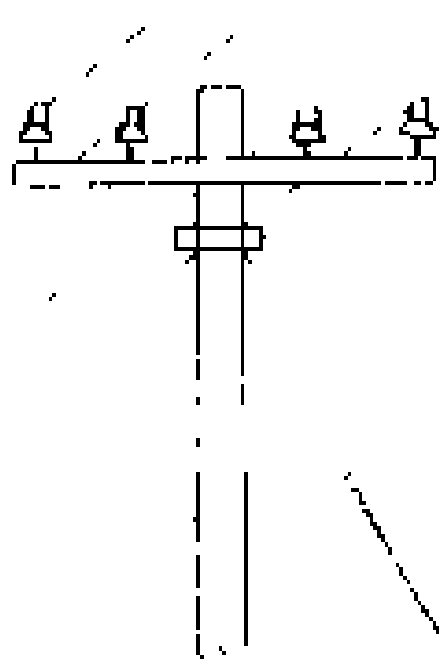


图2 低压架空线路基本结构图

1—导线; 2—电杆; 3—横担;
4—绝缘子; 5—金具;
6—拉线

架空线路上裸导线的选择,不仅要考虑风、霜、冰、雪的作用,空气温度的影响,还要考虑周围空气中所含化学物质的侵蚀以及电压高低、档距大小等因素。低压架空线路由于档距较小(一般为40~60m),主要选用铝绞线。铝绞线导电性能较好(仅次于铜,导电率为铜的60%),重量轻,价格较便宜,但抗化学腐蚀能力



表 1 常用裸绞线型号、规格和用途

品 种	型 号	截 面 积 (mm ²)	用 途
铜 绞 线	TJ	10~400	除特殊情况外,不采用 用于 10kV 以下档距较小的 配电线路
铝 绞 线	LJ	10~600	
镀锌铜绞线	GJ	2~260	用于农用架空线或避雷线

注:型号中 L 表示铝线;T 表示铜线;G 表示钢线;J 表示绞线。

较弱,机械强度较低,所以常用于 10kV 及以下,档距不超过 100~125m 的架空线路。低压架空线路导线截面的选择与低压线路中导线截面积的选择相同。

电杆 用来固定横担、支持绝缘子,架设导线,以

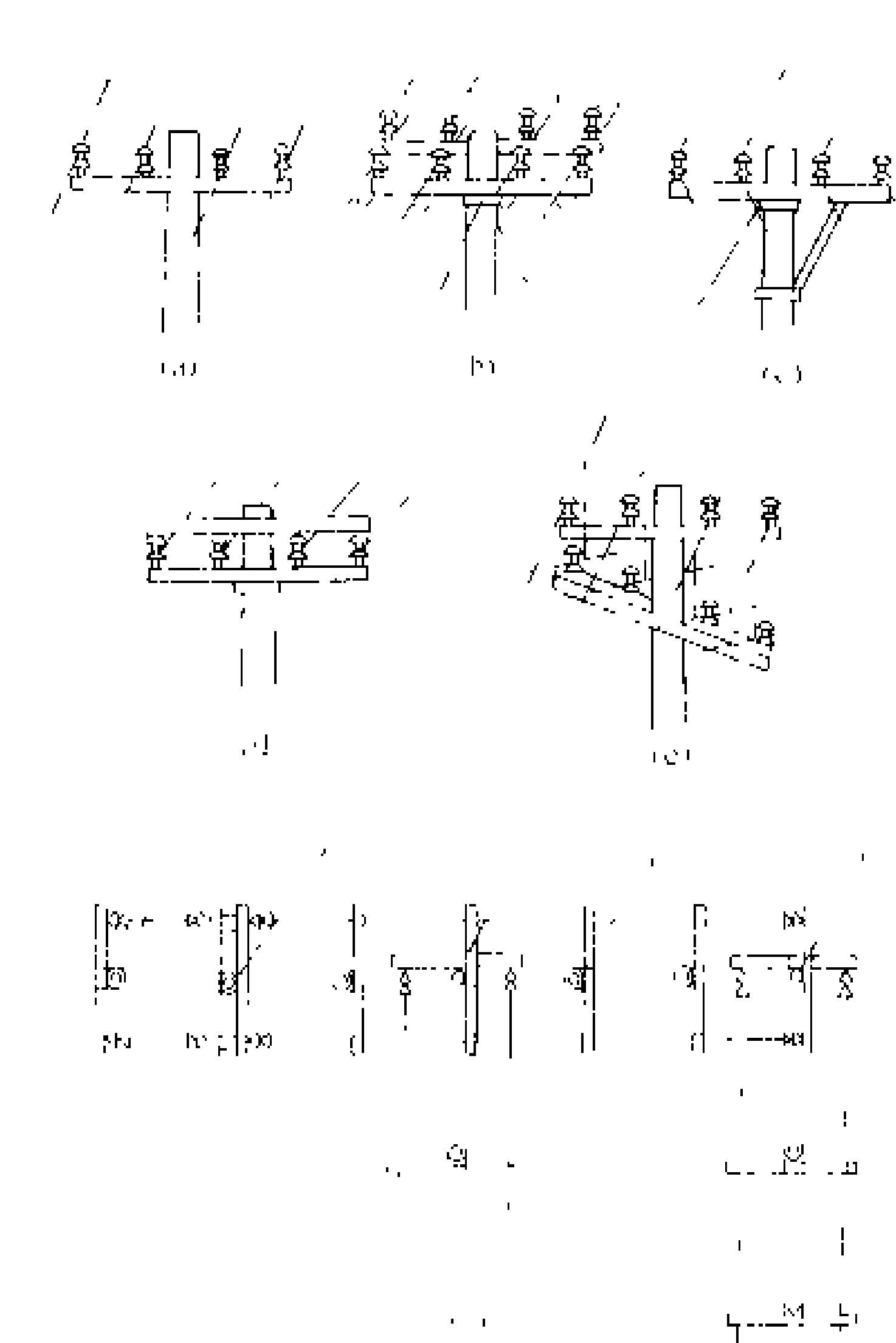


图 3 各种电杆的型式及用途

(a) 直线杆; (b) 耐张杆; (c) 转角杆; (d) 终端杆;
(e) 分支杆; (f) 各种电杆的用途
1—终端杆; 2—耐张杆; 3—分支杆; 4—直线杆;
5—转角杆

保持导线对地面和导线对导线之间有足够距离。低压架空线路普遍采用钢筋混凝土杆,只有在交通困难的林区或个别特殊场合才采用木杆。在路径狭窄的地方,由于无法做拉线,有些低压转角杆、耐张杆也可采用小型铁杆。钢筋混凝土杆一般由工厂预制。工厂预制的电杆分预应力钢筋混凝土杆和普通钢筋混凝土杆两种。20 世纪 90 年代以来,一般都使用弯曲载荷小,搬

运时挠度和裂纹小的预应力钢筋混凝土杆。低压架空线路常用的钢筋混凝土杆是锥度为 1/75 的圆杆(拔梢杆),高度一般有 8, 9, 10, 12, 15 m, 梢径有 150, 170, 190 mm 等几种,可根据需要选用。电杆按用途分,有直线杆(中间杆)、转角杆、耐张杆及终端杆等型式(见图 3)。

电杆的档距是指两个电杆之间的水平距离。电杆的档距取决于电杆高度、导线型号和截面的大小。一般低压架空线路档距为 30~50 m。

横担 主要作用是固定绝缘子以架设导线,使导线之间保持一定距离。横担有铁横担、木横担、瓷横担等。低压架空线路上常用的是用角钢制成的铁横担。横

表 2 横担长度选择表 (mm)

横担材料	低压线路		
	二线	四线	六线
铁横担	700	1500	2300
木横担	850	1780	

担用抱箍固定在电杆上。横担的长度与导线的线间距离、导线与电杆之间的距离、导线在电杆上的排列方式等有关。选择横担长度可参照表 2。

铁横担应热镀锌。铁横担的截面积与架设导线的型号、杆型及导线排列等因素有关。选择铁横担的截面积可参照表 3。

表 3 铁横担截面积选择表

导线截面积 (mm ²)	低 压 直线杆	低压承力杆	
		二 线	四线以上
16 25 35 50	L 50×5	2× L 50×5	2× L 63×5
70 95 120	L 63×5	2× L 63×5	2× L 70×6

注:承力杆系指终端杆、分支杆以及 30° 以上的转角杆。

低压绝缘子 支持、固定低压导线,保持导线对横担之间及导线对电杆之间距离的绝缘件。绝缘子应有良好的电气绝缘性能和机械强度。低压绝缘子分为低

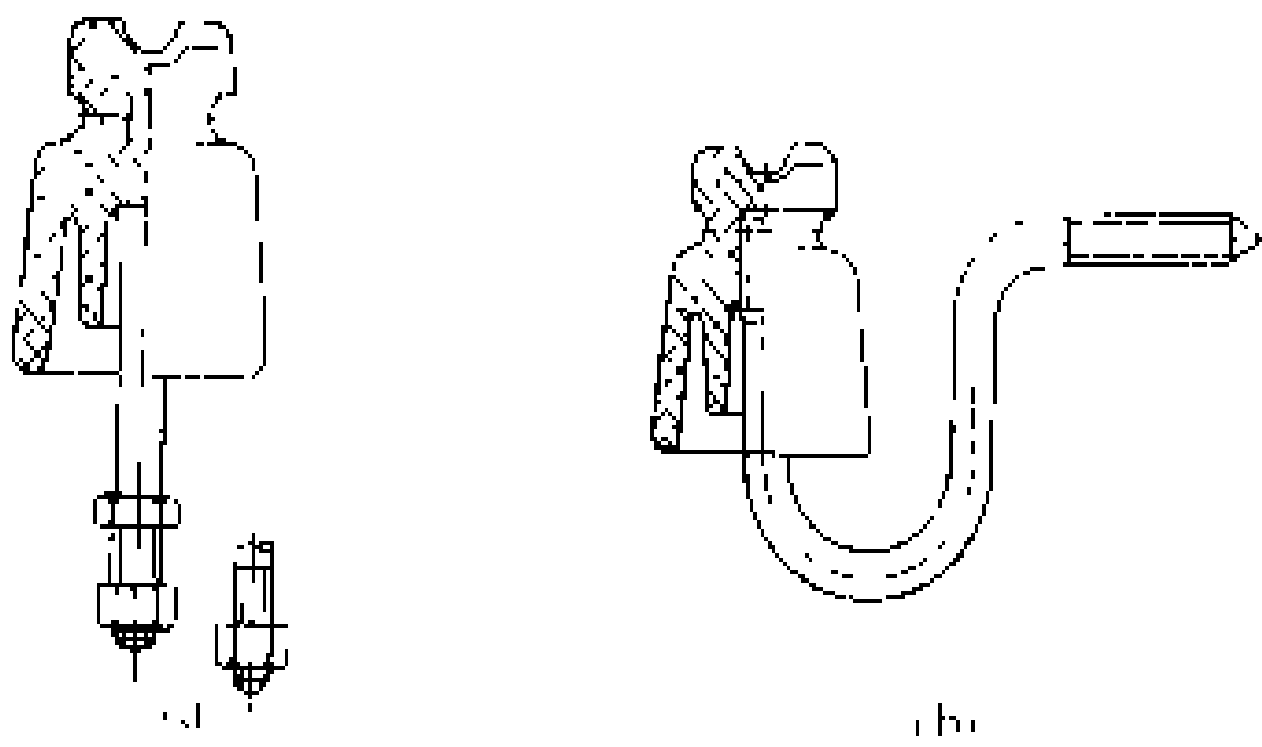


图 4 低压针式绝缘子
(a) 直脚; (b) 弯脚

压针式绝缘子、低压蝶式绝缘子、低压线轴式绝缘子等。

低压针式绝缘子供 500 V 以下架空线路直线杆和 30° 以下转角杆作绝缘和固定导线之用, 其外形及结构见图 4。

低压蝶式绝缘子(见图 5)供 500 V 以下架空线路的终端杆、耐张杆、转角杆作为绝缘和固定导线之用。

低压线轴式绝缘子(见图 6)供 500 V 以下架空线路支持导线和终端拉紧导线之用。它可与蝶式绝缘子互换。

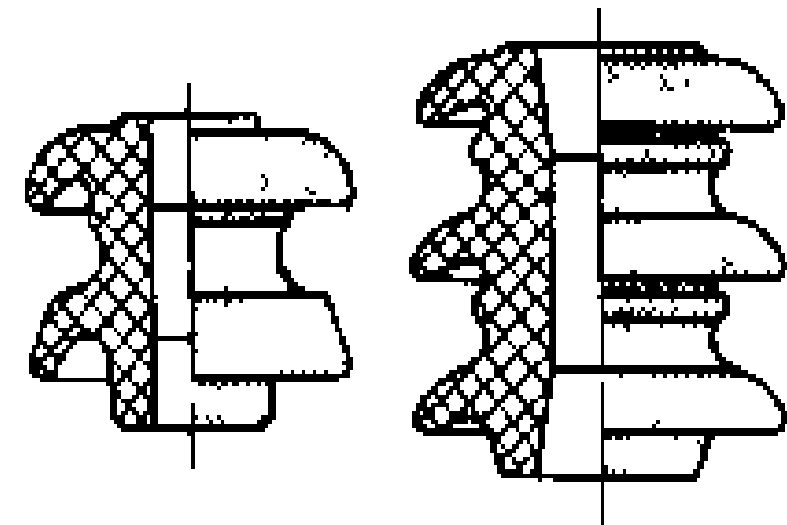


图 5 低压蝶式绝缘子

电车线路用绝缘子(见图 7)用于供电车线路、起重运输设备的滑触线、车间低压架空线作绝缘和固定导线之用, 也用于电车或电站设备上作导电体的绝缘和支持。分悬挂式和瓷环式两种型式。

低压布线用绝缘子适于室内低压配电线路作绝缘和固定导线之用。分低压布线鼓形绝缘子、低压布线瓷夹板、低压布线用瓷管(直管、弯管)三种, 见图 8。

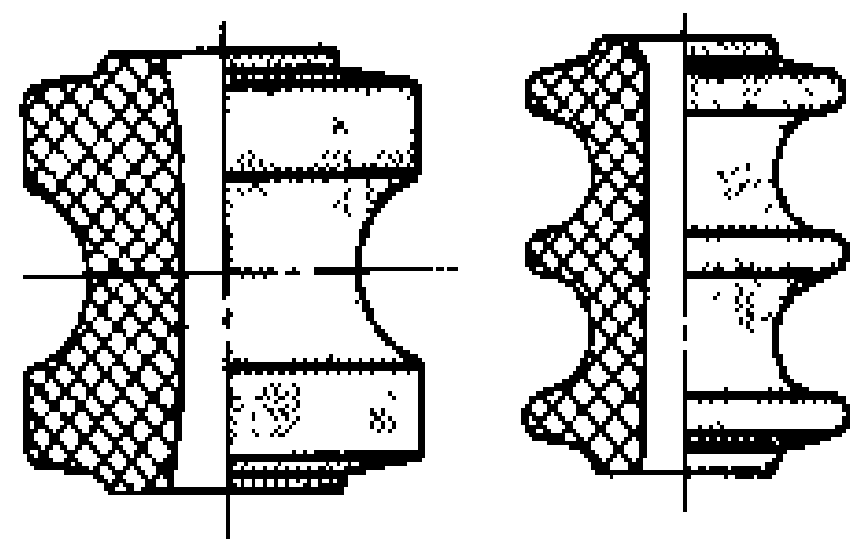


图 6 低压轴式绝缘子

金具 架空线路上用来连接导线、安装横担和拉线绝缘子等所用的金属部件。在线路上大部分金具受到较大的拉力, 有些金具则要保证电气接触良好。常用的线路金具有: 接续金具、联结金具、线夹、拉线金具等。

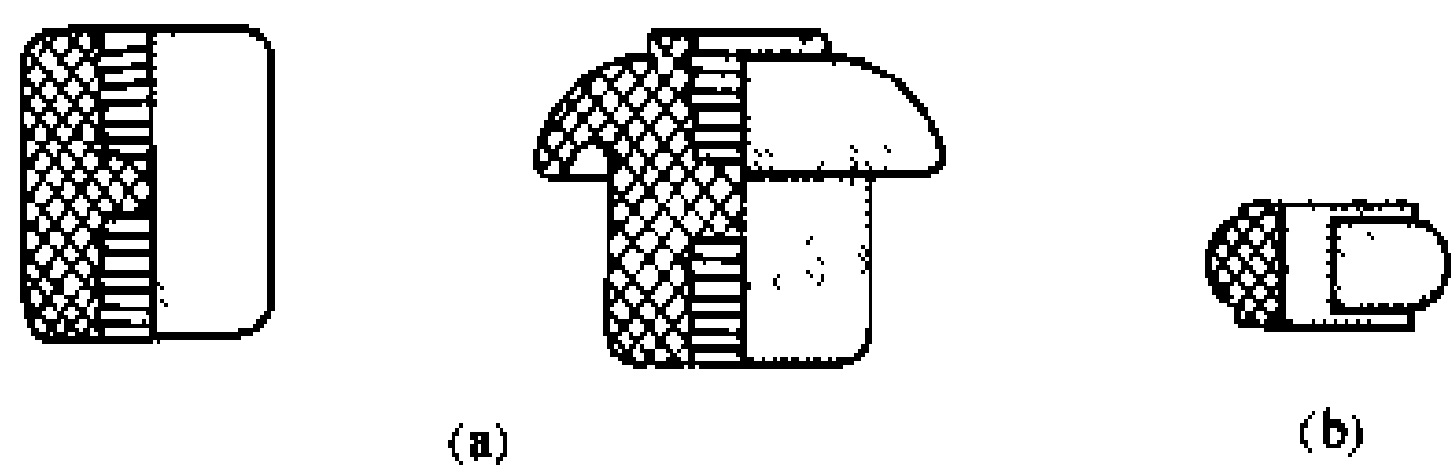


图 7 电车线路用绝缘子
(a) 悬挂式; (b) 瓷环式

(1) 接续金具: 把导线和导线连接起来的金具。要求连接处能承受规定的工作拉力并保持规定的接触面积。常用的连接金具有压接管、并沟线夹等。

(2) 联结金具: 用来将悬式绝缘子组装成串及将悬式绝缘子联结悬挂在电杆、横担上的金具。如平行挡板、曲型拉板、U 型环等。在低压架空线路采用大型导线、耐张杆用悬式绝缘子时需使用联结金具。

(3) 线夹: 用来将导线固定在悬式绝缘子串上的金具。在直线杆上用的线夹称为悬垂线夹。在耐张杆上用的线夹称为耐张线夹。在低压架空线路上一般不使用悬垂线夹。当低压采用大型导线、耐张杆用悬式绝缘子时使用耐张线夹。

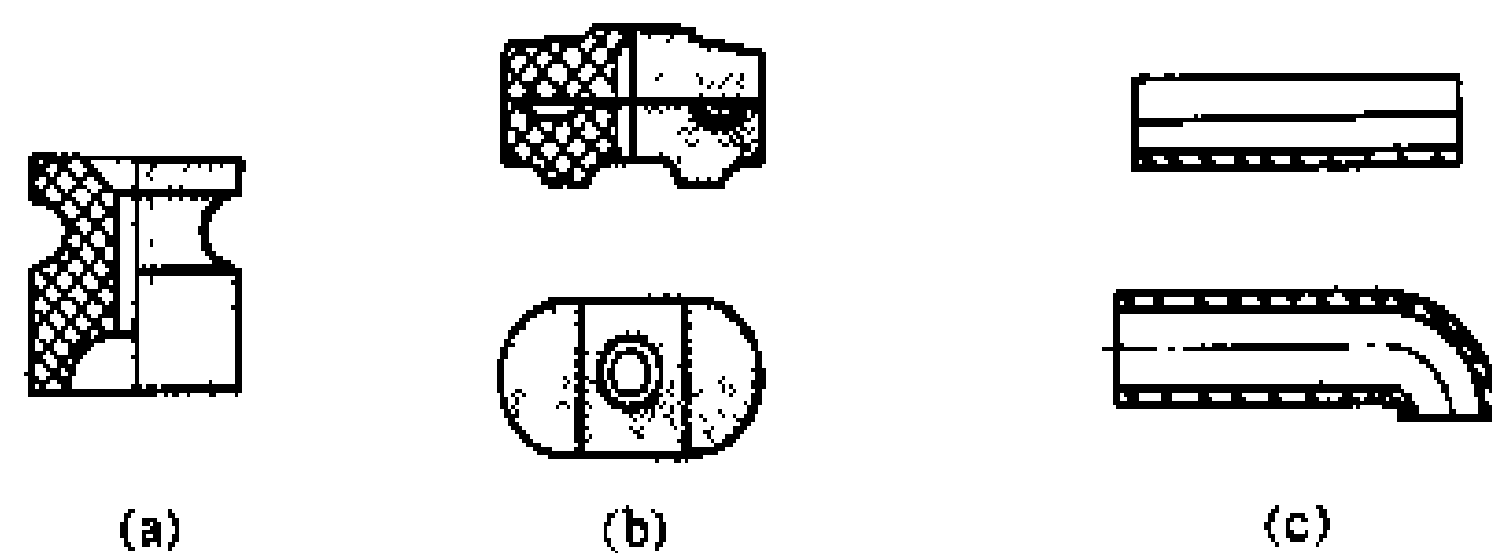


图 8 低压布线用瓷绝缘子

(a) 鼓形绝缘子; (b) 瓷夹板; (c) 瓷管

(4) 拉线金具: 组装拉线时所用到的各种金属零件。如紧固拉线端部用的紧线零件(楔型线夹和铜线卡子等), 调整拉线松紧用的调节零件(螺丝、V 型螺丝等)和连接零件(U 型环、挡板等)。

拉线 加固电杆的一种有效措施。它能抵抗风力, 平衡电杆各方面的拉力, 防止电杆倾斜。常用的拉线有普通拉线、人字拉线、水平拉线、自身拉线等, 见图 9。拉线的形式主要有斜拉线、水平拉线及垂直拉线。

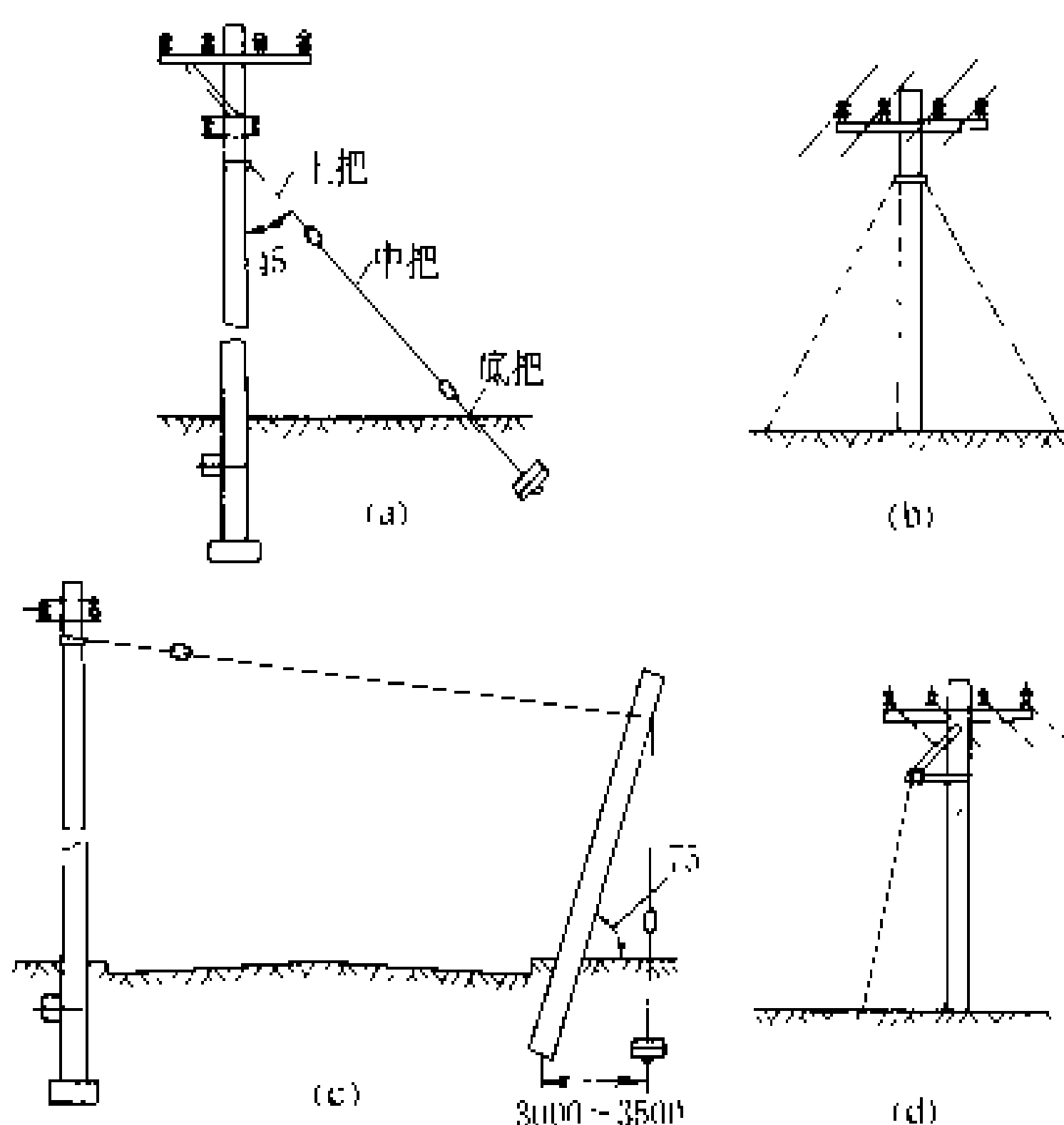


图 9 拉线的种类

(a) 普通拉线; (b) 人字拉线; (c) 水平拉线;
(d) 自身拉线

(1) 斜拉线是最为广泛采用的一种形式, 只要周围地形允许, 各种用途的电杆均可采用。它具有能有效平衡外力, 结构简单, 施工方便, 材料耗量少等优点。

(2) 水平拉线用于拉线延伸方向有障碍(如道路、建筑物等)的场合。

(3) 垂直拉线是受周围地形或建筑物限制, 无法



采用其他形式拉线，而且受力不太大时采用。

线路架设 包括电杆组装和导线架设。

电杆组装 主要有立杆、组装、拉线等。由于低压

架空线路杆型很多，不同的杆型有不同的作用，也就有不同的结构。电杆按不同的结构特点组装。各种类型电杆的结构特点见表 4。

表 4 各种类型电杆的结构特点

杆 型	杆 顶 结 构	有 无 拉 线
直线杆	单横担、针式绝缘子或瓷横担	无拉线或有人字拉线
耐张杆	双横担、悬式绝缘子 ^① 或低压蝶式绝缘子	有四方拉线
终端杆	同耐张杆	有导线反向拉线
转角杆	转角在 30°以下采用双横担、双针式绝缘子 转角在 30°~40°采用双横担、悬式绝缘子或低压蝶式绝缘子 转角在 45°以上采用井字横担(两组双横担十字交叉)、悬式绝缘子或低压蝶式绝缘子	有导线反向拉线及反合力方向的拉线
分支杆	分上下两层，上层顺干线方向可为直线型或耐张型，下层则须为耐张型	根据需要加拉线
跨越杆	单(双)横担、双针式绝缘子或双瓷横担，重要地方的杆顶结构可同耐张杆	根据需要加拉线

① 高压线路上采用悬式绝缘子要与耐张线夹组合使用，但导线截面在 70mm² 及以下时也可采用悬式绝缘子与高压蝶式绝缘子组合。

注：表中所列悬式绝缘子的组合方法均同。

导线架设 导线在电杆上一般采用水平排列。导线间最小距离如表5所示。电杆上的零线，应靠近电杆，如线路沿建筑物架设时，应靠近建筑物。沿建筑物架设的低压架空线路应采用绝缘线。导线支持点之间的距离不宜大于 15m。零线不应高于相线。低压架空线路可以多回线同杆架设，高低压架空线路也可同杆架设，但一般不超过 4 回，具体可按下列三种情况确定：①仅高压线路时为 2 回路；②仅低压线路时为 4 回路；③高低压同杆时为 4 回路（其中允许有两路高压）。同杆架设的线路，高压线在上，低压线在下。架设同一电压等级，不同回路导线时，应把截面小的导线放置在下层。在用户内部的架空线路上往往还架设其他种类的线路，这些线路在电杆上由上而下排列的顺序是：高压电力线路、低压电力线路、路灯照明线路、通信和广播线路，见图 10。为了确保运行和检修安全，各层横担之间应有一定距离。各层横担的最小垂直距离见表 6。

导线架设时要保持适当的弧垂。弧垂是指架空导线最低点与悬挂点间的垂直距离。弧垂的大小要根据档距、导线型号与截面积、导线所受拉力及气温等气象条件来决定。导线架设中在进行紧线时，要测量导线的弧垂是否符合要求。弧垂过大可能造成导线对地或对其他物体距离不够，且在导线摆动时容易碰线；弧垂过小则使导线内应力增大，易于造成断线、倒杆等事故。

导线架设时要保持适当的弧垂。弧垂是指架空导线最低点与悬挂点间的垂直距离。弧垂的大小要根据档距、导线型号与截面积、导线所受拉力及气温等气象条件来决定。导线架设中在进行紧线时，要测量导线的弧垂是否符合要求。弧垂过大可能造成导线对地或对其他物体距离不够，且在导线摆动时容易碰线；弧垂过小则使导线内应力增大，易于造成断线、倒杆等事故。

表 6 同杆架设线路各层横担间的最小垂直距离 (m)

线 路 类 别	直 线 杆	分 支 杆 或 转 角 杆
高压线路与高压线路	0.80	0.45/0.60
高压线路与低压线路	1.20	1.00
低压线路与低压线路	0.60	0.30
高压线路与通信线路	2.50	2.50
低压线路与通信线路	1.50	1.50

注：1. 分支杆或转角杆横担距上面横担为 0.45 m，距下面横担为 0.6 m。

2. 低压架空线路的导线与拉线，导线与电杆的净空距离不应小于 0.1 m。

运行维护 低压架空线路一般每季度进行一次定期巡视。遇线路附近有施工或遇大风、大雨、地震等情况，应对有关地段适当增加巡线检查次数。对低压架空线路进行巡视检查，一般应注意以下问题：

- (1)检查沿线防护区内有无草堆、木材堆和危及线路安全运行的树枝与天线，附近有无植树、挖渠、土石方爆破开挖、射击以及洪水淹没电杆等异常情况。
- (2)电杆及其部件有无歪斜变形或开裂现象，电杆上有无鸟巢及其他杂物，电杆基础是否下沉，电杆各部件的连接是否牢固、有无螺丝松动或锈蚀等情况。
- (3)导线有无锈蚀、断股、损伤或闪络烧伤的痕迹，导线对地、对交叉设施及其他构筑物间的距离是否符合有关规定要求，导线接头有无松动变形等。
- (4)绝缘子有无脏污、裂纹和偏斜，金具及针式绝缘子铁脚等有无锈蚀、松动、缺少螺丝及开口销脱出丢失现象。

The diagram illustrates a multi-arm street lighting pole with the following specifications:

- Vertical Dimensions:**
 - Top section: 600
 - Second section: 1200
 - Third section: 600
 - Fourth section: 1200 ~ 1500
 - Fifth section: 600
 - Total height: L
 - Ground clearance: H
- Horizontal Dimensions:**
 - Top arm spacing: 700 (between poles)
 - Second arm spacing: 400, 300, 300, 400
 - Third arm spacing: 700
- Equipment and Cables:**
 - 6~10kV 高压线路** (6~10kV High Voltage Line)
 - 高压转角** (High Voltage Turn)
 - 380/220V 低压线路** (380/220V Low Voltage Line)
 - 路灯线路** (Street Lighting Line)
 - 广播线路** (Broadcast Line)
 - 通信线路** (Communication Line)
- Other Features:**
 - A bracket on the right side indicates a height of ≥ 5500 .
 - The pole is shown with a base and ground level.

(6) 电杆拉线有无锈蚀、松弛、断股和受力不均的情况, 拉线棒、楔型及 UT 型线夹、抱箍等连接件有无锈蚀、松动或损坏。

diya nadeng

开灯时钠蒸气气压不超过 5Pa 的钠蒸气气体放电光源。这种灯的放电在许多方面和低压汞蒸气放电相似,具有典型的低压金属蒸气放电特性。放电时大部分辐射能量都集中在钠的共振谱线上,适当选取放电条件,可以获得很高的共振辐射效率,是发光效率最高的电光源。但由于所发出光线是单一的黄光,影响了它在照明上的推广应用。使用较多的场所是对光色质量要求不高的公路和隧道照明。

了相当长的一段时期,到 20 世纪 60 年代,整体型灯才取代了可拆卸的柱瓦瓶灯。整体型灯中的 U 字形灯管的每条腿上各套有一个玻璃管,或是用一个圆柱形玻璃外壳围住 U 字形管。为了保存灯的热量,发光管和外界之间都有双层玻璃。此时整体型灯的光效已达到 $100\sim 110\text{ lm/W}$ 。到 80 年代,国际市场上出现了 18 W 和 100 W 的低压钠灯,灯的最大发光效率已达 183 lm/W 。

1. $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$
 2. $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$
 3. $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$
 4. $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$
 5. $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$
 6. $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$
 7. $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$
 8. $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$
 9. $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$
 10. $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$

内装有支架，以支持发光管。同时，为了减少由于传导、对流产生的热损耗，对发光管应采取保温措施，外管内保持高度真空。为了防止光辐射的损失，在外管内壁通常涂敷具有良好透过可见光反射红外辐射的氧化铟膜，以充分有效地利用从发光管本身发出的热量，并使管壁温度大约保持在 260°C 。为了保证灯的方向性，应使用卡口型插脚式灯头。

低压钠灯的光效由与管壁温度有关的钠蒸气气压决定。当钠蒸气气压为 39.2 Pa 时, 光效达到最高值, 此时相应的管壁温度为 260°C 。钠蒸气气压过低时, 激发原子不足; 钠蒸气气压过高时, 共振辐射的光自吸收增大, 均会使光效下降。

• 50 •

的物体，与其他光源比，即使在烟雾中也难以生成光幕，光的透雾性能很好。所以，低压钠灯在公路、隧道和港口照明中应用较多，小型低功率低压钠灯在仪表工业中作为单色光谱灯，也应用不少。

寿命 低压钠灯的寿命一般约为 9000 h。使用过程中灯的点灭次数的增加会缩短灯的寿命，所以应尽量减少灯的开关次数。另外，由于灯的发光管较长，点灯时钠的移动对寿命及工作状态也有影响，因此，为了防止钠的移动，点灯时需规定灯的朝向。对一般水平燃点的照明用低压钠灯来说，点灯方向的变动范围不应超过 $\pm 20^\circ$ 角，以保证灯的正常工作和寿命。低压钠灯和其他灯比，在使用过程中，灯的光衰较小，在工作 9000 h 后，尚能维持 80%~85% 的初始光通量。

启动 在灯刚点燃时，由于辅助启动用的氖气放电，光色为橙红色，待管壁温度上升，钠蒸气气压也随之上升，并逐渐转向钠放电，大约 7 min 后，就发出以钠发光为主的黄色光。点灯后约 10 min 光通量即可以达到额定值；点灯后约 14 min，灯的电流、电压和功率达到额定值。

低压钠灯的启动设备一般使用漏磁变压镇流器。随着电子技术的进步，漏磁变压镇流器的点灯电路已被一种混合电路所取代。在该电路中，漏磁变压镇流器的增压已部分地被一个触发器所代替，这样灯功率损耗和电流中的三次谐波均较低，可实现灯的二次瞬时启动。在灯的整体寿命期间，功率损耗是恒定的，而且设备体积小，重量轻。与漏磁变压镇流器的点灯电路比，采用混合电路作为启动设备，灯的光效可提高 10%~15%。

发展趋势 由于低压钠灯较其他光源的光效高、具有显著的节能效果，预计今后会向着进一步提高灯的光效方向发展。发光管内在保持 0.6 Pa 的钠蒸气气压和 260℃ 的管壁温度的条件下，在套管内涂敷透明的氧化锡或者过氧化钡金属氧化膜，可使光效提高到 200 lm/W，再配以新型电子镇流器，光效还可提高 10%，预计光效可达 220 lm/W。另外，10、18 W 紧凑型低压钠灯也将会有一定发展，可用它替代白炽灯作为应急照明光源。

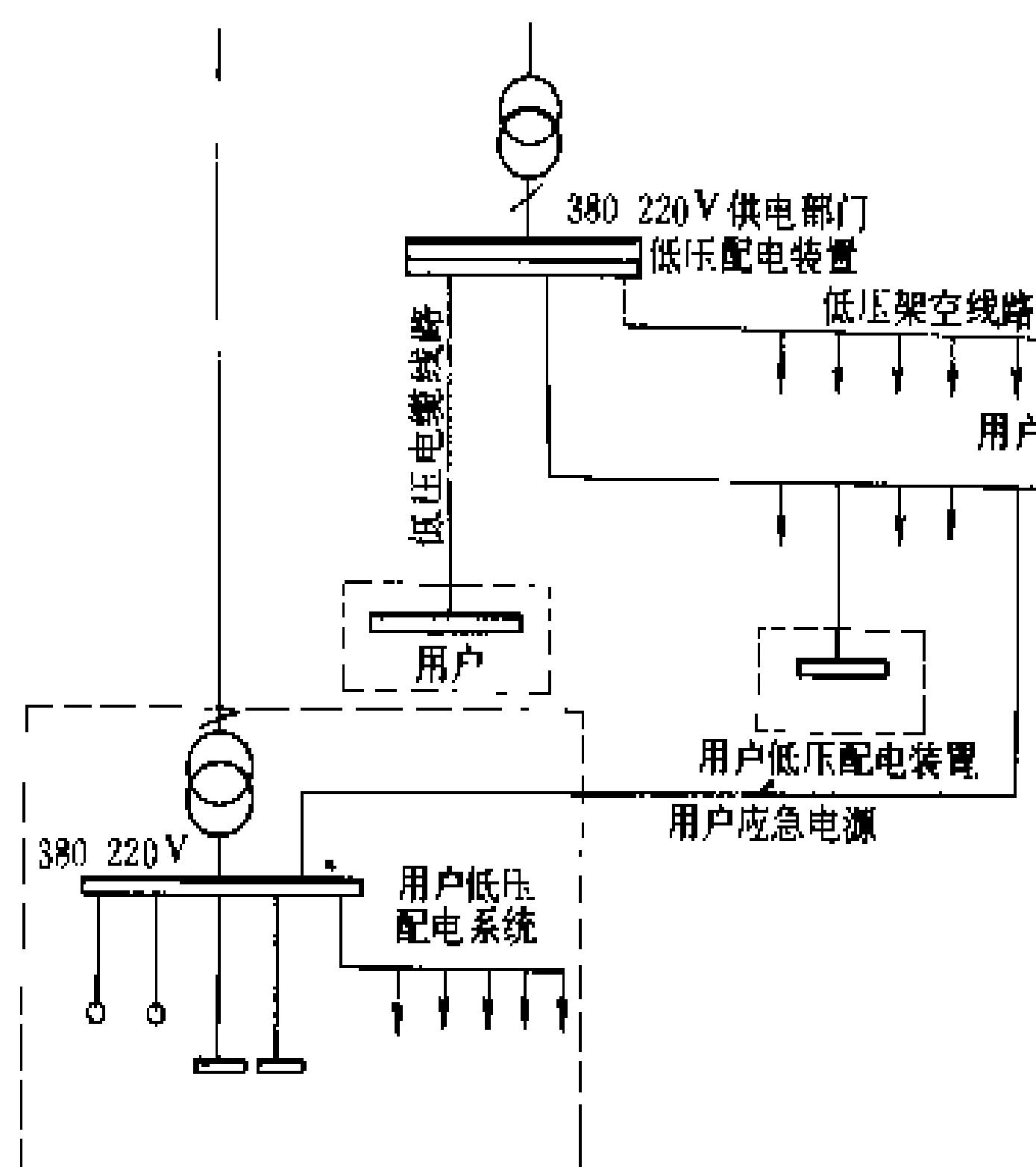
(肖辉乾)

diya peidian

低压配电 (low-voltage power distribution)

由低压配电系统向用户或用电设备的供电。低压配电电压在中国一般系指三相 380 V 和三相四线制 380/220 V 的交流电压。设计低压配电系统的原则是变电所要深入负荷中心，以最短的距离分配低压电能，达到降低损耗、提高电压质量、节约投资、

减少维修工作量等目的。低压配电系统一般由电源(配电变压器二次侧)、低压配电装置、低压线路、用户侧低压配电装置直至用电设备组成(见图)，采用不同的配电方式向用户或用电设备供电，可满足用户或用电设备对供电的不同要求。



低压配电系统示意图

电源 供电部门或用户配电变压器的二次侧引出电压为三相四线制 380/220 V 或单相 220 V。有的厂矿车间，出于安全考虑，采用三相 380 V 中性点不接地或不直接接地配电系统，在煤矿井下的低压配电系统，有时采用三相 660 V 或更高的配电电压。

低压配电装置 常用的低压配电装置为低压成套配电装置。它是由各种低压电器组装而成的成套配电屏(箱)，用来控制受、馈电路，也可用来直接控制低压用电设备，如电动机等。一般用多台配电屏组成一个变电所的低压配电装置，包括受电、联络、馈电回路和保护及测量等，安装在低压配电室内。根据屏的用途不同，分别装有刀开关、负荷开关、低压断路器、熔断器、接触器和一次回路用的控制保护电器；还安装有供二次回路用的电流互感器、电压互感器、电流表、电压表、有功和无功电能表等指示、计量仪表及继电保护装置和信号设备等。为了提高功率因数，有时成套电容补偿装置(见用电无功补偿装置)也与之安装在一起。

低压配电屏主要分固定式和抽屉式两大类，两者都适用于所有的变电所，包括独立的低压配电所，后者更多地用于用户变电所，作配电和电动机控制中心。

除上述低压配电屏外，在用户配电系统中，还装有控制电动机的动力配电箱和控制照明系统的照明配电箱等。

在供电部门的配电系统中，每个馈电回路始于配



电屏中该回路的断路器直至用户的配电屏（箱）。在用户的配电系统中，则始于用户配电屏（箱）中该回路断路器直至用电设备或下一级配电屏（箱）。在研究每一回路的构成时，一般需要考虑的因素有：导线选择、线路敷设方式、开关选择、线路保护电器的选择等，与之相应的要注意短路电流的计算，设备、材料的动、热稳定校验和回路电压降等问题。

低压线路 主要功能是在电源和用户或用电设备之间可靠地传输电能。主要有低压架空线路和低压电缆线路两类。导线是线路传导电能的主体，有铜绞线、铝绞线、钢芯铝绞线等。架空线多用裸导线，电缆（见低压电缆线路）则是有绝缘层、护套、铠装等被覆的导线。（见低压线路）

(1) 低压架空线路。一般低压架空线路长度不长但电流可能较大，可按导线的允许载流量选择导线截面积，然后按电压损失和机械强度进行校验。

架空线路由导线、绝缘子、横担及电杆等组成。导线固定在绝缘子上与地绝缘，绝缘子固定在横担上，横担通过支撑固定在电杆上。架空线路造价低廉、施工检修方便，但容易遭受雷击和异物的破坏，常用于对农村、城市、工矿企业中用电量小而分散的用户或用电点供电，在建筑密集、道路交错的厂区等则不宜采用。

(2) 低压电缆线路。一般低压电缆线路长度不长，可按允许载流量选择电缆截面积，再检验其电压损失、短路时的热稳定；按电缆的敷设场所及环境条件选择电缆的绝缘和被覆。

电缆线路由电缆、电缆终端盒（头）、电缆中间接线盒等组成。电缆的敷设方式主要有：在地面下直埋，适用于同一途径的电缆根数不多时；敷设在混凝土排管中，适用于有较多电缆需平行敷设在地下时；当有大量电缆需平行敷设时，则可采用在电缆隧道中用电缆支架安装的方式；在室内则可将电缆敷设在电缆沟内，安装在托架上，也可利用电缆桥架在室内、外架空敷设电缆。

配电方式 低压配电系统常用配电方式分为放射

式和干线式两类。在同一低压配电系统中也可采用不同的配电方式，以适应不同用户、用电设备或生产线的需要。在低压配电系统中可以用两个或多个电源向一个用户供电，以提高供电可靠性，但需设置用电设备连锁装置和继电保护装置，以保证运行和操作的安全，从而也提高了造价。各种配电方式及其适用条件见表。

常用 配 电 方 式

配电方式	接 线 图	适 用 条 件
放射式		配电设备集中、操作维修方便，供电可靠性较高，适用于组成城、乡、工厂的低压配电网向重要负荷、容量大而集中的负荷、同一生产线的所有用电设备供电
干线式		供电灵活性大，配电设备用量少，但故障点多，故障影响面大，适用于向城、乡、工厂中小容量分散用户或用电点供电
		供电灵活性大，配电设备用量少，但故障点多，故障影响面大，适用于工厂车间中分布均匀的负荷、生产线上调动较多的负荷。常选用铜、铝母线作干线的插接式母线，故又称变压器—干线式。
		较单台变压器提高了可靠性和灵活性，但也增加了投资，适用于工厂车间中分布均匀的负荷、生产线上调动较多的负荷
		供电灵活性大，配电设备用量较少，故障影响面较大，适用于负荷分布较均匀的场所，又称链式
		供电灵活性大，配电设备用量较少，故障影响面较大，适用于向集中的多台小容量用电设备的供电
		实际上是由两个链式连接组成的环式，通常开环运行。两链可以从不同的变电所供电，因而提高了供电可靠性。这种配电方式因判断故障需要时间，不能避免停电，于线须能负担全部负载，使投资增加

基本要求 在确定低压配电系统时，应满足安全



性、可靠性、操作简单、维修方便、电压变动率小、能适应改扩建需要和节约基建投资等基本要求。

(1) 安全性。生命安全和财产安全是电力系统的两个最重要的因素。低压配电系统是用户直接使用的,应特别注意保证人身安全。

(2) 可靠性。用户对供电连续性有不同的要求,要在兼顾用户需要和费用合理的基础上,尽量提高低压配电系统的可靠性。

(3) 操作简单、维修方便。在低压配电系统运行和检修过程中,操作要简单,维修要容易,这对安全可靠供电很重要。

(4) 电压变动率小。电压波动过大对用电设备的运行和寿命不利,应该采取技术措施将电压波动限制在用电设备允许的范围之内。

(5) 能适应改扩建需要。对用户的改建、扩建应作充分的研究了解,并对低压配电系统的扩展尽可能留有余地。

(6) 节约基建投资。在充分考虑上述因素的前提下,尽可能地节约基建投资。

(方鸿发 杨启元)

diya peidian shi

低压配电室 (low - voltage distribution room) 放置低压配电装置,向用户供电的控制场所。低压配电室多位于负荷中心并紧靠配电变压器(或变压器室),以减少导线长度,节省投资,减少线路上的电压损失和功率损失。设置低压配电室还应适当考虑交通运输和进出线的引接方便等因素。

低压配电室的建筑物结构、占地面积、布置形式与其传递电力的容量,电气接线形式,进出线回路数以及配电设备的型式、数量等有关;还应考虑运行操作、维护检修方便和必要的电气安全距离并为日后扩建留有余地。低压配电室正逐步向小型化、美观化及现代化方向发展。

低压配电室建筑物应满足以下基本要求:

(1) 建筑结构应符合国家规定的防火要求。

(2) 建筑物高度应满足配电设备的配置和最高大电气设备的检修吊装要求,并兼顾进出线的电气安装允许距离。

(3) 既要采光、通风好,又不被日光直射,以免影响电气设备的运行。门窗应有防止小动物进入的设施,以免发生事故。

(4) 为便于运行维护,保证工作人员安全,配电室的门应向外开或采用双向门。当配电室长度大于 7 m 时,应在两端设门。

(5) 应有可靠的照明(工作照明和事故照明)、通

信及电气防火设施。

(6) 低压配电室的外形应与周围的环境和谐,一般采用平顶或人字形屋顶结构。

(7) 低压配电室的面积由所安装的电气设备或低压成套配电装置的数量,运行维护和操作所必须的走道宽度等决定,应适当留有值班人员的必要活动空间。

(李朝阳)

diya peidian xitong jiedi xingshi

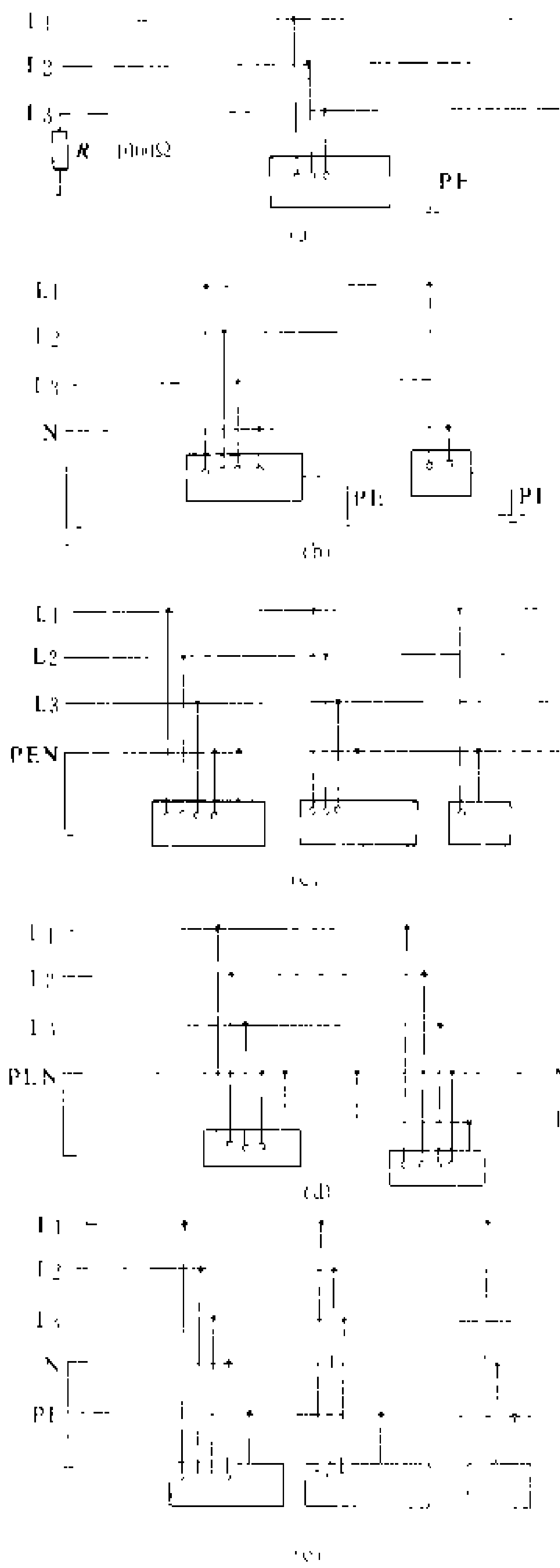
低压配电系统接地型式 (earthing system of low - voltage network)

低压交流 220/380 V 配电系统采用的接地型式。依据低压配电系统(见低压配电)的对地关系、电气设备(或装置)的外露可导电部分的对地关系以及整个系统的中性线与保护线的组合情况,低压配电系统接地型式有 TN 系统(包括 TN-S、TN-C-S、TN-C 系统)、TT 系统和 IT 系统,共五种(见图)。第一个字母:T 表示一点直接接地;I 表示所有带电部分与大地绝缘或经人工中性点接地。第二个字母:T 表示外露可导电部分与大地有直接的电气连接,而与低压配电系统的任何接地点无关;N 表示外露可导电部分与低压配电系统的接地点(通常为中性点)有直接的电气连接。第二个字母后面的字母:S 表示整个系统的中性线和保护线是分开的;C 表示整个系统的中性线和保护线是共用的;C-S 表示系统中有一部分中性线与保护线是共用的。

依据低压配电系统中,防止因电气设备绝缘损坏引起人体触电事故原理的不同,可将这五种接地型式分为两类。一类是当人们接触到绝缘损坏的电气设备外壳时,使通过人体的电流在安全容许范围之内。这类接地型式有电源中性点对地绝缘(或经高电阻),电气设备外壳直接接地的 IT 系统和电源中性点直接接地,电气设备外壳也独立直接接地的 TT 系统。这两种系统都要求电气设备的接地电阻很小,从而使故障设备对地电压不超过 50 V,在人体电阻比接地电阻大得很多的条件下,就可以满足上述电流值的要求,起到保护作用。另一类是将电气设备外壳用保护线与中性点直接接地的电源的接地装置相连。当设备绝缘损坏时,由电源相线→故障设备外壳→保护线→电源中性点形成回路,较大的短路电流起动装设于电源侧的保护电器,从而将故障设备从系统中切除,以起到保护作用。TN 系统便属于这种类型。

IT 系统 电源中性点对地绝缘(或经大于或等于 1000 Ω 电阻接地),电气设备的外露可导电部分直接接地的系统。当电气设备绝缘破损时,由非故障相对地流入电容电流,由于设备外壳对地电压限制在安全值 50 V 以下,电容电流很小,允许短时间不切断电源,但

这时中性点的对地电位升高至相电压,如引出中性线,而被人触及是有危险的,所以本系统不宜引出中性线,无法对单相设备及照明供电。此外,考虑到低压配电系统覆盖范围很大,而所有电源均长期维持为中性点对地绝缘状态是困难的,且单相、间歇性电弧接地还会引起系统对地电位的异常升高。因此,IT 系统可用于不间断供电要求较高的场所,如煤矿。



低压配电系统接地型式

(a) IT 系统; (b) TT 系统; (c) TN-C 系统;

(d) TN-C-S 系统; (e) TN-S 系统

PE—保护接地线; PEN—保护接地线与中性线的公用线

TT-系统 电源中性点接地, 电气设备的外露可

导电部分也独立直接接地的系统。在 TT 系统中, 包括变压器中性点、建筑物或构筑物、电气设备均各有其独立的接地装置, 保护线之间互不相连, 因而杜绝了故障电压的相互影响, 可用于城市电网对低压用户的供电, 也可用于对防火及防干扰要求高的设备或场所的供电。在农村, 由于线路长、负荷分散, TT 系统可以就近实现接地, 比较简单经济, 因而应用较广。但在城市中, 从安全要求来看, TT 系统与 TN 系统不允许在同一配电系统中共存, 以及采用 TT 系统需要较多数值较小的接地电阻和灵敏度高的保护等, 限制了它的应用。

TN-C 系统 三相星形接线的电源中性点直接接地, 用电设备用保护接地线 PE 和中性线 N 合一的 PEN 线与电源的接地装置相连的系统。这种系统在中国称为保护接零系统, 应用最广泛。从图 (c) 可以看出, PEN 线既作为单相电气设备的电源线, 又作为包括三相设备在内的所有电气设备保护接地的连接线, 比较简单方便。当绝缘损坏时, 短路电流从电源相线→故障设备外壳→PEN 线→电源中性点流过, 使电源端的保护电器动作, 切断电路, 以达到使人身脱离危险的目的。

根据多年运行经验, 随着单相设备容量的不断增大, TN-C 系统主要存在以下问题:

(1) 不能在所有故障情况下切断电源。根据保护动作电流的整定, 在故障时, 能够灵敏动作的线路长度较小, 甚至不能满足一般的要求。此外, 架空线导线断线落地或 PEN 线断线, 使外壳带有相电压时, 一般不能在有效时间内切断电源。

(2) 人为事故增加。如毗邻地区用户采用不同接地型式, 处理不慎, 会造成严重后果。如低压配电系统维修时, 若相线与 PEN 线互换, 便会造成人身触电事故。

(3) PEN 线正常带电位。在住宅、工厂、试验室、办公楼、商业建筑中, 尽管设计时考虑三相负载平衡设置, 但运行时往往难于控制; 近年来单相设备容量增大, 电力电子装置应用增多, PEN 线即使在正常工作时也流过不平衡电流和高次谐波电流。这将使 PEN 线带有较高电位, 可能引起火灾和对人身安全造成威胁, 并使配电系统中对电能质量有较高要求的单相用电设备工作不正常。此外, 由于 PEN 线相互连接, 也会出现一处故障而波及其他用户, 造成不安全的可能。

TN-S 系统及 TN-C-S 系统 电源通过中性点直接接地, 电气设备的外露可导电部分通过专用保护线 PE 与中性点接地装置连接的接地系统称为 TN-S 系统。TN-C-S 系统为 TN-C 系统与 TN-S 系统的组合体。组合方式为前端用 TN-C 系统给一般三相平



衡负荷供电,末端用 TN-S 系统给少量单相负荷或相对高质量的电子设备供电。这种系统的 PEN 线必须在前端,且 PE 线与 N 线一经分开后就不应再合为 PEN 线。

这类系统消除了人为事故,PE 线不通过负荷电流,所以系统正常工作时,不像 TN-C 系统中 PEN 线那样,带有电位。TN-C-S 系统电源线中用 PEN 线,进入建筑物分为 PE 线及 N 线,很适用于分散的民用建筑和对已有 TN-C 系统的改造。但这两种系统都需要有较精密的漏电电流动作保护器相配合,否则不易满足保护可靠动作的要求。

中国推荐采用 TN-S 系统和 TN-C-S 系统。
(苏文成)

diya peidian zhuangzhi

低压配电装置 (low-voltage switchgear)

用于接受低压电力的同时又向动力或照明负荷馈送电能,实现控制、保护或测量的电气装置。低压配电装置的主要功能是在正常运行状态下接受和分配电能,故障时迅速切除故障电路。它在电力系统中起着联系高压电力网(电源侧)和用户(负荷侧)的作用,是实现电能传递的过渡性环节。

低压配电装置由各种低压开关电器、控制电器、保护电器、指示仪表以及载流导体等组成。

(1) 低压开关电器,用于接通或断开电路的低压电器,如低压断路器、负荷开关、组合开关、熔断器、刀开关等。

(2) 保护电器,用于限制电流和防御过电压的电器,如限流电阻、低压避雷器及接地极(网)等。

(3) 控制电器,用于控制受电设备,使其达到预期要求的工作状态的电器,如接触器、控制继电器、主令电器、起动机、控制器等。

(4) 指示仪表,包括互感器,仪表等。

(5) 载流导体,包括用于汇集和分配电流的母线、电缆以及设备、器件之间的连接导线等。

低压配电装置按组装方式的不同分为装配式配电装置和成套式配电装置。装配式配电装置是将电气设备、元器件等在低压配电室内按照电气技术要求及电路接线图,依次进行现场组装,构成完整电路;成套式配电装置又称低压成套配电装置,是在制造厂按照各种不同电路接线图,选择电气设备,组成不同电路,分别置于金属屏(柜)中,用户可根据配电的需要,选择有关电路的屏(柜),运至现场拼装连接成所需的电路。由于成套低压配电装置体积小,安全距离合理,有利于现场拼装,工期短,已成为低压配电装置的主要形式。

低压配电装置应满足以下要求:

(1) 正确选择电气设备的容量并保证有足够的开断能力。电气设备容量一般应按正常运行条件选择,按三相短路状态校验其动稳定和热稳定。

(2) 电气设备之间应具有足够的电气安全距离。

(3) 设备应按单列或双列对称的紧凑布置,便于运行;应设有维护走道和操作走道,便于巡视、操作和检修。

(4) 在满足电气安全可靠的前提下,既应考虑设备的先进性,又要注意设备和材料的节约,以降低成本和投资。

(5) 用于动力的裸硬母线应涂漆着色,以利于散热和识别相序。涂漆的颜色规定为 A 相(U 相)着黄色, B 相(V 相)着绿色, C 相(W 相)着红色。

(李朝阳)

diya xianlu

低压线路 (low-voltage line) 额定电压

1 kV 及以下的电力线路。低压线路包括低压架空线路、低压电缆线路和室内配电线路,用于直接向低压用电设备输送电能,是低压配电系统(见低压配电)的重要组成部分。低压线路可以从公用低压配电网接入,通过低压配电室引出;也可以由用户自备的变配电室的低压配电装置引出。由于在一定的容量范围内采用低压用电设备具有安全、经济等优点,因此在用户中低压用电设备数量较多,使用频繁,相应低压线路也比较多,分布较广。但低压线路的额定电压比较低,功率损耗和电压损失都比较大,故只能用于短距离、小容量的低压配电。

接线方式 低压线路采用的接线方式较多,常采用的有交流系统的三相三线制、三相四线制、单相二线制、单相三线制和直流系统的二线制、三线制等。中国根据国家有关规定,低压线路通常采用交流单相二线制、三相三线制和三相四线制的接线方式。低压线路常用的接线方式及适用范围见表 1。

额定电压 低压线路的额定电压各国均采用各自国家规定的标准电压。日本交流单相二线制的额定电压为 100、200 V;单相三线制的额定电压为 100/200 V;三相四线制的额定电压为 240/415 V 等。美国单相三线制的额定电压为 120/240 V;三相四线制的额定电压为 127/220 V 等。已列入国际电工委员会标准(IEC38)的 100~1000 V 的交流系统标准电压和直流牵引系统标准电压,见表 2、表 3。中国低压线路常采用的额定电压见表 4。在中国低压线路中应用最广泛的是交流 220/380 V 的三相四线制,它可直接向低压动力和照明设备供电。在有特殊要求的潮湿环境或有危险的场所中,可采用交流 36 V 或 12 V 线路供电。

表 1 低压线路常用的接线方式及适用范围

接线方式	直 流		交 流			
	二线制	三线制	单相二线制	三相三线制		三相四线制
				三角形接法	星形接法	
接线图						
适用范围	城市无轨电车、 地下铁道机车	发电厂变电所 自用电、二次设备 用电及电解、电镀 等用电	城市路灯照明、 医院诊断用 X 光 射线机等单相设 备用电	三相动力用电		普遍用于低压 配电、电气照明及 家用电器

20 世纪 60 年代中期以后，交流三相三线制 660 V 电压逐渐应用于大型工业的低压配电系统，国际电工委员会已将其列入标准电压。近年来在中国矿山等工业部门也开始采用。

结构型式 低压线路可分为低压架空线路、低压电缆线路和室内配电线路三种。低压架空线路和低压电缆线路一般用于室外，直接向室外用电设备和室内低压配电系统供电。室内配电线路包括工业与民用建筑物内接到各种用电设备去的固定线路。

低压架空线路和低压电缆线路可以从以下几个方面比较选用：①电缆线路敷设于地下，对周围环境影响小，有利于环境建设；②电缆线路供电可靠性比较高，不易发生雷击污闪及其他外力破坏事故；③电缆线路受地面建筑物、树木等影响小，出线及选择路径方便；④电缆线路投资费用大；⑤电缆线路事故抢修和施工难度比较大。所以当环境条件要求比较严格、架空走廊有困难、对供电可靠性要求比较高周围树木及污秽对线路影响较大时，可选择电缆线路供电。变配电所的低压架空线路出线有困难时，

也可采用低压电缆线路出线，到合适的地段再接入架空线路。

低压导线和电缆选择 选择导线和电缆，第一是选择型号，第二是选择截面积。

导线和电缆的型号应根据电压和使用的环境条件、敷设方式及用电负荷的特殊要求等因素选择。

导线和电缆的截面积应根据以下四个条件来选择：

(1) 按发热条件来选择。在最大允许连续负荷电流下，导线发热不会超过线芯所允许的温度，也不会因过热而引起绝缘损坏或加速老化。因此按照发热条件选择导线截面就是按照导线的允许载流量选择导线截面，应使导线的长期允许载流量大于通过导线的最大负荷电流，即

$$I_{\text{L}} = KI \geq I_{\text{N}}$$

式中 I 为导线、电缆按发热条件允许的长期工作电流，A； I_{N} 为经过校正后的导线、电缆允许载流量，A； K 为考虑到空气温度、土壤温度、土壤热阻系数、敷设方

表 3 100~1000 V 的直流牵引系统标准电压 (V)

最低值	标准值	最大值
(400)	(600)	(720)
500	750	900

注：括号中的数值是非优选值，在新建系统中一般不再采用。

表 2 100~1000 V 的交流系统标准电压

	三相四线制或三线制系统	单相三线制系统
标准电压 (V)	220/380 240/415 277/480 660 1000	120/240

注：1. 三相四线制系统和单相三线制系统包括与这些系统相连接单相回路。
2. 同一栏内较小值为相电压，较大值为线电压。
3. 若只标一个则是三相三线制系统的线电压。
4. 大于 240/415 V 的电压只用于某些重工业等特殊用户。

表 4 中国 100~1000 V 标准电压 (V)

直流标准电压	交流标准电压		直流标准电压	交流标准电压	
110	线电压	相电压	220	220	900
		900		380	(720)
	(127)	(720)	440		900

注：括号内的电压，只用于矿井下或其他保安条件要求较高之处。



式等情况的校正系数； I_m 为线路可能通过的最大负荷电流（计算电流），A。

对于低压导线、电缆不做短路情况下的热稳定验算。

(2)按允许电压损失选择。导线上的电压损失应低于最大允许值，以保证供电质量。为了保证低压用电设备正常运行，其端子处电压损失允许值，对于电动机及一般无特殊要求的用电设备和无特殊要求的照明为±5%（以额定电压的百分数表示）。

(3)按机械强度条件选择。在正常工作状态下导线应有足够的机械强度，即导线截面要大于最小允许截面（按机械强度要求的导线最小截面可查有关手册）。

(4)与线路保护设备（装置）配合选择。为了防止通过导线及电缆的电流超过规定的数值，在低压线路中须加装保护装置，包括过负荷保护、短路保护等，所用的保护电器主要是熔断器和低压断路器。要求在线路过负荷或短路时，保护装置能对导线和电缆起保护作用。为此导线和电缆的允许持续电流与保护装置的整定值必须有适当的配合。一般规定见表 5。

表 5 保护装置的整定值与低压线路允许持续电流的配合

保护装置	无爆炸危险场所			有爆炸危险场所	
	过负荷保护		短路保护	橡皮绝缘电缆及导线	纸绝缘电缆
	橡皮绝缘电缆及导线	纸绝缘电缆	电缆及导线	橡皮绝缘电缆及导线	纸绝缘电缆
	导线和电缆的允许持续电流 I				
熔断器熔件的额定电流 I_N	$I_N \leq 0.8I$	$I_N \leq I$	$I_N \leq 2.5I$ ($I_N \leq 1.5I$)	$I_N \leq 0.8I$	$I_N \leq I$
低压断路器热脱扣器整定电流 I'	$I' \leq 0.8I$	$I' \leq I$	$I' \leq 1.1I$	$I' \leq 0.8I$	$I' \leq I$

注：1. 括号内的数字系指采用明敷绝缘导线时。
2. 低压断路器的长延时脱扣器的保护作用与热脱扣器相同。

为了低压线路安全，导线和电缆的选择必须满足以上条件。选择方法通常是按其中一个条件（发热条件和允许电压损失条件）选择，按其他条件校验，并应与保护装置的整定值有适当的配合。

（唐义治）

diban dalaji

地板打蜡机（floor waxing machine）

利用电力对地板及光整地面上蜡打光的清洁器具（见家用电器），又称地板打光机。地板打蜡机的使用减轻了上蜡打光工作的劳动强度，已广泛应用于家庭、宾馆等多种场所。

地板打蜡机的结构比较简单，它利用一台电动机经过齿轮减速机构带动刷头旋转，改变刷头上配装的刷盘，即可完成吸尘、上蜡、打光等功能。根据结构形式的不同，一般分为单盘式、双盘式、三盘式打蜡机和上蜡打光机等多种。双盘式打蜡机体积较小，使用较灵便，适用于家庭等小面积打光工作。三盘式打蜡机附有吸尘装置，打光时同时能吸除地面灰尘。上蜡打光机具有上蜡和打光的双重功能。在上蜡时，蜡经电热熔化并由蜡筒滴入地面，刷盘旋转将蜡均匀地涂在地面；在打光时，换上打光刷盘，便能进行打光工作，对大面积打蜡较为理想。地板打蜡机在向一机多用方向发展，已出现的新机种可完成吸尘打扫、梳理地毯、上蜡打光等全部工作。

地板打蜡机使用的电动机功率约 200 W 左右，有的在 500 W 以上。

为确保正常使用，应注意维护和保养。停机时应放置在干燥、通风的地方。其传动部分应保持润滑，定期加油。有吸尘装置的打蜡机，集尘袋里灰尘要经常清理干净，吸尘风道要保持畅通。采用串励式电动机的打蜡机，电机碳刷要定期更换。上蜡打光机使用时，应适当控制熔蜡温度、滴蜡流量。

（陈祖勋）

dixia tiedao

地下铁道（underground railway；metro）

在大城市的地下隧道内铺设轨道，以电动快速列车运送乘客的电气化铁路，简称地铁。地下铁道具有运量大、快速、安全、准时和舒适、不污染空气和市区环境、可避免频繁的交通伤亡事故、节能省油等优点。它与地面交通相比具有不占用市区用地，可以缓解大城市交通堵塞、拥挤，又可作为战时人防、运输和掩蔽场所等特点。

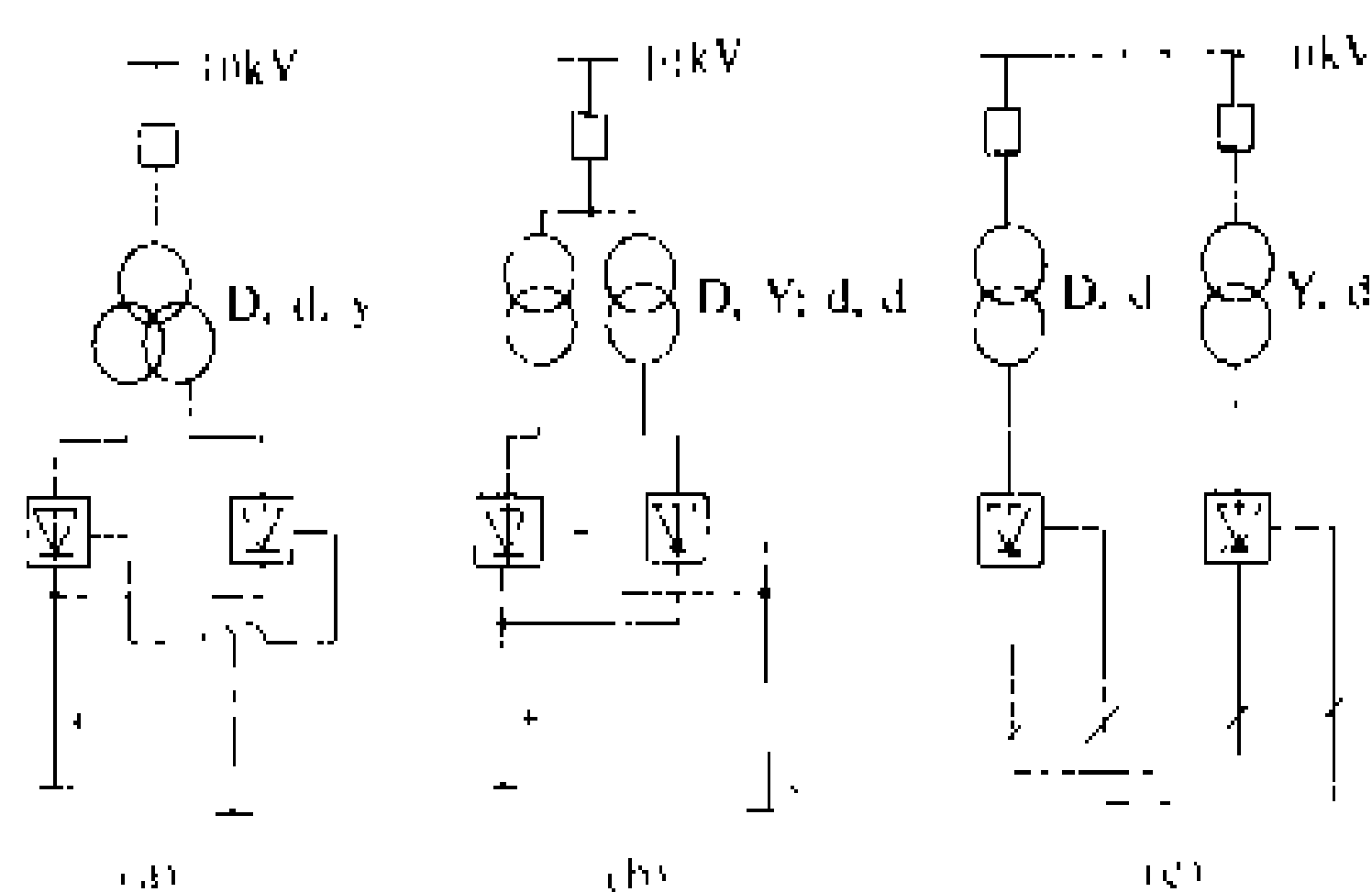
世界上许多国家的大城市有以地铁作为主要公共交通的发展趋势，特别是近数十年来随着城区的扩大和卫星城镇的发展，城郊与市中心来往人员乘车距离延伸，为了解决和改善地面交通紧张状态和缩短乘车时间，一些国家均将地铁作为大城市的一种重要交通工具。

构成 地铁主要包括：①列车、线路、车站；②供电及变电所；③通信信号及调度指挥等系统；④运营及检修。它们相互构成一个整体，协调工作保证地铁的正常运行。

列车、线路、车站 地铁列车均采用由电动客车组成的动车组。动车组之间可夹带无动力拖车。大多数列车的车轮用钢轮,也有用橡胶轮胎的。地铁列车车厢密闭性较好。地铁线路的轨道同地面铁路的轨道相似,一般采用标准轨距并采用较重型的钢轨。地铁在城市郊区可在地上或高架线路上运行。地铁车站有不同模式,按运营性质可分为中间站、尽头站和换乘站;按站台与轨道的相对位置可分为岛式站台和侧式站台;按其所处位置、重要性、客流量的大小分为几个级别,例如中国北京地铁车站有甲、乙、丙三种之分,北京站是甲级站。根据条件及需要各站间距离不等,一般站间距离为1 km左右。

供电及变电所 采用直流制。电压标准 IEC 规定为 600、750、1500 V 三种,中国电压标准为 750 V 及 1500 V,允许电压波动范围为 500~900 V 及 1000~1800 V。主要供电设备有直流牵引变电所及接触轨(也称第三轨)或接触网。(见电力牵引供电系统)

牵引变电所主要设备有牵引变压器及整流机组。要求变电所设备具有防水、防爆性能。牵引变压器接线组别有三绕组 D, d, y 或 Y, d, y; 四绕组 D, Y; d, d; 等效双绕组采用三相桥式整流接线。为了减少谐波,1000 kV·A 以上的变压器应采用削谐措施。普遍采用的方法是增加整流相数,如变压器采用三绕组或四绕组接线,实行 12 相整流脉冲接线方式;也可将两台不同接线的双绕组变压器采用等效 12 相接线方式,如图所示。图(a)为 Y, d, y 或 D, d, y 三绕组接线,图(b)为 D, Y; d, d 四绕组接线,图(c)为 D, d 和 Y, d 或 Y, y 和 D, y 接线。各种接线方式削谐效果是一致的。



牵引变压器及整流机组连接型式

(a) Y, d, y 或 D, d, y 三绕组接线; (b) D, Y; d, d 四绕组接线; (c) D, d 和 Y, d 或 Y, y 和 D, y 接线

接触轨设于地铁走行钢轨的旁边,其优点是运营维护简便,工作量少,运营费用低,但安全性较差。接触网有刚性及柔性两类,设于地铁隧道的上方,比较安

全,但运营维护工作量大,费用高。地铁以采用接触轨(第三轨)供电方式居多。中国北京地铁采用直流 750V,第三轨供电方式。

通信信号及调度指挥等系统 地铁通信信号是提高地铁运输效率,保证安全行车的前提。信号系统由移频电气集中、调度集中、机车信号和自动停车等组成。调度集中就是调度员在调度室集中操纵和观察全线道岔和信号,统一指挥全线运行。通信系统包括自动电话、调度电话、车站广播等设备。

运营及检修 地铁列车的运营,根据客流量可以控制编组及到发时间间隔长短,来调节输送客流量。如节假日或上下班客流量增加时,则可增加编组或缩短到发车的间隔时间。通常其间隔时间在 1~3 min 范围内,或者更长些。地铁列车的检修工作在设在地面上的车辆段进行。其检修分为厂修、架修、定修、小定检及列车检查五种。

地铁施工 地铁施工根据其在地面的深度,分为浅埋与深埋两种。浅埋是将一般区间隧道线路埋设在街道下面沿街道而行,通常采用明挖法施工。而深埋地铁其隧道线路采用暗挖深埋穿过建筑物的底层,采用盾构法和矿山法施工。有时在城市郊区地铁线路可延伸到地面或高架桥上与地面公共交通衔接。北京地铁三期工程的复兴门至八王坟段,其中复兴门站至西单的东折返线采用浅埋暗挖施工法,它与浅埋明挖的施工技术相比难度较大,工料费用也高,但对地面影响甚小,适用于在繁华街道下修建地铁。

明挖法 露天开挖基坑,然后在基坑中修筑隧道的施工方法。明挖法修筑的地铁建筑物,一般采用现场整体浇筑钢筋混凝土结构。近年来由于施工吊装能力提高,有的采用预制装配式结构。明挖法修筑的隧道结构形式多为矩形断面,区间隧道多用双跨,少数用单跨,车站隧道多用三跨或双跨,隧道防水一般采用外贴卷材或喷涂材料。

暗挖法 在地下进行开挖和衬砌以修筑隧道的施工方法。暗挖法主要有盾构法和矿山法。盾构法施工的隧道断面多为圆形,衬砌材料用铸铁管片、预制钢筋混凝土管片或砌块装配而成。近年来,盾构法发展出泥浆盾构、土压平衡盾构和刀盘盾构等多种新型盾构。矿山法施工的隧道断面多为拱形,衬砌一般用钢筋混凝土整体浇筑。

地铁通过水域时,除暗挖法外,也可用围堰法、气压沉箱法和沉管法等修建地下隧道。沉管法施工安全,造价便宜,曾成功地用于旧金山地铁海湾水下隧道和香港地铁海峡水下隧道。

发展概况 世界上第一条地铁为英国伦敦地铁。该地铁于 1863 年 1 月 10 日建成,线路长度为 6.4



km，采用明挖法施工。19 世纪后期的 10 年间有芝加哥（1892 年）、布达佩斯（1896 年）、格拉朗哥（1896 年）、维也纳（1898 年）、巴黎（1900 年）5 座城市相继修建了地铁。其中芝加哥全部采用高架线，直到 1943 年才建成第一条地下线路。20 世纪上半叶在柏

林、纽约、东京、莫斯科等 12 座城市修建地铁。此后，世界上约有 33 个国家和地区，71 座城市建造地铁，大部分在欧洲。这 71 座城市地铁，共 223 条线路，全长 3921.47 km，其中地下线路约占 67.4%，其余为地上线路。世界主要城市地铁概况见表。

世界主要城市地铁概况表

序号	城市名	机构名	开通年	营业里程 (km)	地下部分 长度 (km)	线路数	车站数	客运量 (万人/年)	最大 编组	最短间隔 (min)	电流电压制
1	伦敦	伦敦运输公司	1863	387.6	163.6	9	248	54100	8	1.65	直流 630 V
2	巴黎	巴黎运输公司	1900	190.8	170.0	15	359	110950	6	1.35	直流 750 V, 第三轨
3	柏林	柏林运输公司	1902	116.7	97	10	134	43660	8	2.30	直流 750 V, 第三轨, 600V, 接触网
4	马德里	马德里地铁 股份公司	1919	94.5	89.0	11	133	35600	6	2.30	
5	大阪	大阪市交通局	1933	90.9	79.6	6	88	83490	8	2.00	
6	东京	帝都高速 度交通营团	1927	142.1	117.9	7	132	169410	10	1.50	直流 1500 V, 600 V
7	莫斯科	莫斯科地铁	1935	184.0	166	8	115	237720	7	1.20	
8	罗马	拉齐奥区运 输联合会	1955	24.7	18.2	2	33	14000	4	3.00	
9	北京	北京地铁公司	1971	23.6	23.6	1	17	4500	4	3.00	直流 750 V, 第三轨
10	汉城	汉城地铁公司	1974	24.8		2	20		6	3.00	直流 1500 V, 接触网
11	香港	香港公共交通 铁道公司	1979	26.1	20.2	2	25	22300	8	2.30	直流 1500 V, 接触网
12	芝加哥	芝加哥 运输公司	1892	152.8	16.3	6	142	14720	8	3.00	直流 600 V, 第三轨
13	格拉朗哥	斯特朗哥里 德客运公司	1896	10.5	10.5	1	15	1110	3	4.00	直流 600 V, 第三轨

作为解决大城市人口密集、地面交通堵塞、乘车困难、改善环保的现代化交通工具的地铁，将在一些国家继续建设，而且今后将向着站距大、深层、小断面地铁方向发展。为充分利用地下空间，尽可能节省投资，需要解决地下（深度 50~60 m）深层地铁的盾构施工方法，解决处理高水压、高上压以及到达地面距离加长等问题。解决地下立体交叉的技术难题，首先是：①安全性。深层地铁采取保证旅客安全及防火的措施尤为重要。②舒适性。重视接送旅客、换乘条件方便。③经济性。求得深层地铁建设、设计、施工的合理与经济效益。④充分考虑与其他交通的衔接配合等问题。

（商福崑）

dixia tiedao yongdian
地下铁道用电（electrical energy utilization of underground railway）地下铁道运输作业消耗的电力。地下铁道具有列车的牵引力大，起、停车快，加、减速度比其他车辆快，安全，准确，高效的特点和运力大、速度快的优点。现代化大城市为了缓解地面交通拥挤，多开发地下铁道。

地下铁道用电由电动车组牵引用电，动力照明用电，通信信号用电三部分组成。

电动车组是地下铁道的主要用电设备，电动车组牵引用电约占地下铁道总耗电量的 70%。电动车组分为可再生式和无再生式两种。可再生式能将电动客车



运行中由惯性产生的动能转化为电能反馈回电网，回收再用，其回收利用率可达总耗电量的 25%。无再生式则无此功能。因而可再生式可以节约电能。中国北京地下铁道的电动车组为无再生式。

动力用电包括自动扶梯、风机、水泵和空调设备等的用电和布设在沿线车站，担负旅客乘降，地下通风空调，车站给、排水等的用电；照明用电包括车站站台、集散厅、出入口、通道以及车站机房、办公室的工作照明用电。

通信信号用电包括设置在沿线车站的指挥列车运行的信号装置及其机械设备用电，主要有沿线车站的调度电话、无线电台和广播设备的用电。

在现代化大城市中，地下铁道承担主要市内交通运输任务，一旦中断供电将造成社会混乱。其通信信号用电关系着安全运行，需按重要负荷设置备用电源。

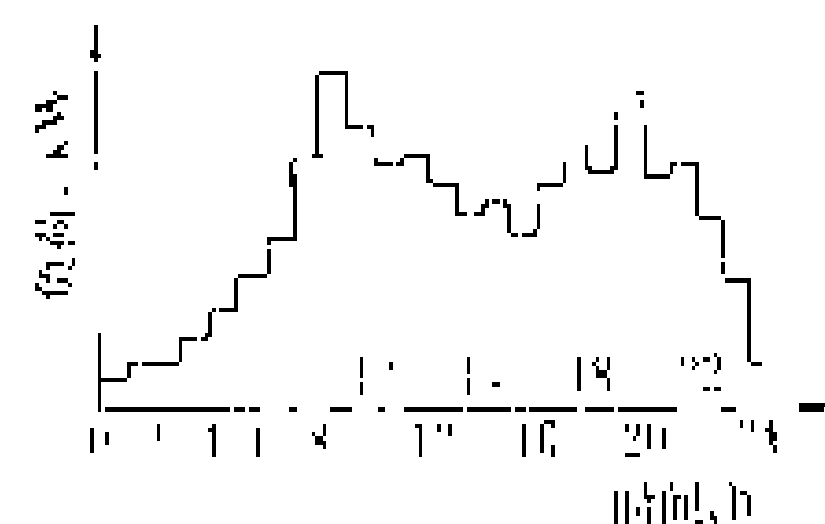
供电方式 地下铁道的电网由电源变电所、牵引变电所和降压变电所以及电缆和接触轨组成。电源变电所可设在地下，也可设在地上，把外电源变为 10 kV 电压送到牵引变电所和降压变电所，有条件的车站，牵引变电所和降压变电所可合建成混合变电所，以节约建设资金和建筑面积，并便于运行管理。

牵引变电所将 10 kV 电源降压并整流成直流电，馈至接触轨供电动车组牵引用电。国际上牵引网一般用 750、1500 V 和 3000 V 直流系统，城市区一般选用 750、1500 V，市郊区选用 3000 V。中国北京地下铁道采用 750 V 直流系统。

地下铁道的 750 V (或 1500 V) 直流牵引电网，一般由牵引变电所、馈电电缆和接触轨 (或接触网) 构成，车辆通过受流器 (亦称集电靴) 由接触轨 (或接触网) 上部受电。

降压变电所将电源变电所 (或牵引变电所) 引入的 10 kV 高压降至 400 V 交流电，供地下铁道的动力、照明用电。地下铁道的通信、信号设备由牵引变电所或降压变电所设专用变压器降压供电。

用电特点 牵引用电负荷变化剧烈，不连续，用电负荷曲线如图所示。



地下铁道用电负荷曲线 地下铁道为直流电力牵引，因此其综合用电功率因数较高，在 0.95 以上。中国实际测量北京地下铁道的用电功率因数高达 0.99。再生式电动车组耗电约 $1.4 \sim 1.5 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{车} \cdot \text{km})$ ，无再生式电动车组耗电约 $2.7 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{车} \cdot \text{km})$ 。中国北京地铁的电动车组耗电为 $2.73 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{车} \cdot \text{km})$ 。牵引变电所整流装置为谐波源，需注意防

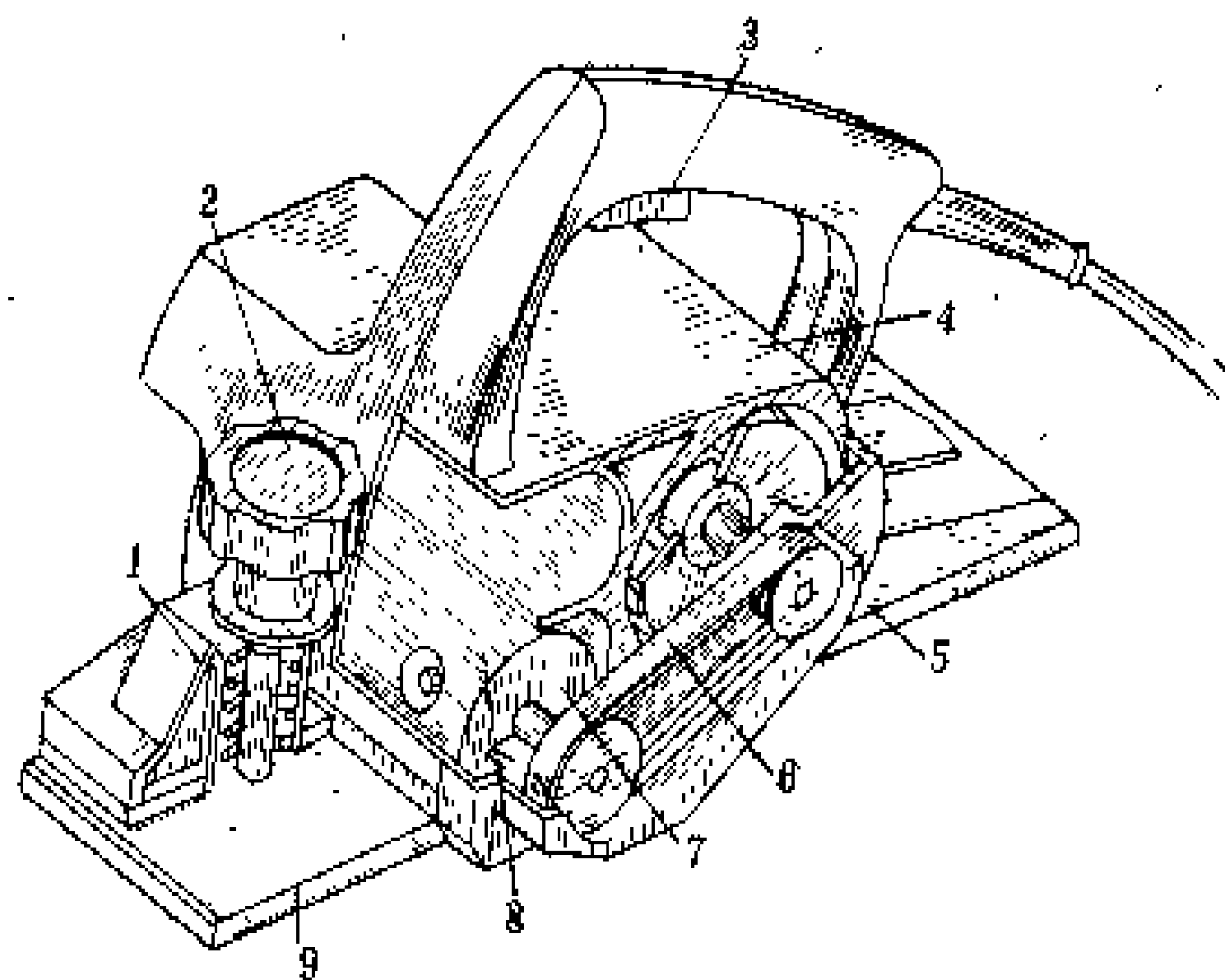
治 (见整流器谐波)。

(余瑞杰)

dianbao

电刨 (electric planer) 用于刨削木材和木结构件平面的电动工具。电刨主要用手握持操作，也可装置在台架上作为小型台刨使用。

电刨有直接传动式和间接传动式两种。家用电刨为间接传动式。它由单相串励电动机、刀腔机构、刨削深度调节机构、手柄、电源开关及电源连接装置件等组成，其结构见图。电动机额定输入功率为 395~840 W。刀腔机构有上下两层，上层为排屑室，它通过壁口与电动机内腔相通，由此往外排屑。排屑室内壁呈特种曲面，当刨屑由下往上顺着壁而形成涡流时，借电风扇的风力进行排屑。刨削深度调节机构由调节手柄、刻度环、防松弹簧、前底板等构成。拧动调节手柄，使它与螺纹连接的前底板作用下位移，并使前底板而与后底板面 (或刃口) 之间产生位移差，其数值在刻度环上标记，并由弹簧螺柱装置予以锁定，以防止在使用过程中松动和变化。圆形刀轴是作业工具，刀片在径向突出，刀轴最大尺寸不能超过 1 mm。刀片的轨道圆迹与底板口之间距离不能大于 5 mm。刀轴与电动机转轴之间的尼龙传动带不能用作附加绝缘。



电刨结构

1—防松弹簧；2—调节手柄；3—开关；4—外壳；
5—电动机；6—传动带；7—刀轴；8—刀片；9—前底板

刨刀刃磨时应装在磨刀架上进行；刃磨后装刀前应放在专用装刀架上校正。电刨操作推进时，右手掌握后手柄施加向前推进的力，左手轻扶前手柄以稳定前进方向，不得施加垂直方向力，以免影响基准平面的平直度，造成加工面刨削不平。

见家用电动工具。

(李邦协)

dianbingxiang

电冰箱 (refrigerator; refrigerator - freezer)

以电为动力,带有制冷系统和隔热箱体,用来冷冻、冷藏食品或其他物品的制冷器具(见家用电器)。家用电冰箱的容积通常为 20~500 L。

简史 1910 年世界上第一台压缩式制冷的家用电冰箱在美国问世。1925 年瑞典丽都 (Electrolux) 公司开发了家用吸收式冰箱。1927 年美国通用电气公司研制成功全封闭压缩式制冷装置。1931 年研制成功新型制冷剂氟里昂 12,并在工业上使用。50 年代后半期开始生产家用热电冰箱。

世界著名的电冰箱生产厂家美国有 GE/热点 (General Electric /hot point)、惠普 (Whirlpool)、怀特联合 (White Consolidated) 和阿德迈诺 (Admiral) 等,日本有东芝 (Toshiba)、松下 (National)、日立 (Hitachi)、三洋 (Sanyo) 等,意大利有扎努西 (Zanussi) 和伊瑞 (Ire) 等。

中国从 20 世纪 50 年代开始生产电冰箱,1956 年天津市医疗器械厂试制成功中国第一台全封闭压缩式电冰箱。90 年代主要生产厂家有广州万宝电器集团公司、苏州香雪海电器公司和北京雪花电器公司等。

基本结构 电冰箱由箱体、制冷系统和控制系统组成。

箱体 箱体的功能是围护隔热,使箱内外空气隔绝,以保持箱内的低温。箱体由外壳、内胆、隔热材料和箱门构成。外壳多用 0.5 mm 左右的冷轧钢板制作,经磷化处理后,表面喷漆或喷塑;也有的使用装饰性塑料复合板。内胆使用 ABS 工程塑料板或改性聚苯乙烯塑料板,以真空成型的方式制作;也有的使用钢板搪瓷、钢板喷塑,或用铝板或不锈钢板。外壳、内胆之间填充隔热材料,常用的隔热材料有聚氨酯泡沫塑料,也有的使用玻璃纤维、聚苯乙烯泡沫塑料等。箱门有钢板喷漆或喷塑门,也有透明的玻璃门。箱门四周和箱体之间用磁性门封密封。

制冷系统 制冷系统是一个封闭的循环系统,它由压缩机、冷凝器、干燥过滤器、毛细管、蒸发器组成(图 1),运转时不断吸收箱内被冷却物品的热量,并将其转移、传递给箱外的空气或水,以实现制冷。

(1) 压缩机:冰箱上使用的全封闭式压缩机有往复式(简称往复式)和旋转活塞式(简称旋转式)两种。往复式压缩机又分为曲柄滑管式和连杆活塞式。输出功率小于 150 W(约 1/5 马力)的压缩机多采用曲柄滑管式,输出功率大于 150 W 的压缩机多采用连杆活塞式或旋转式。旋转式压缩机具有体积小、重量轻、零部件少、制冷效率高等特点,但零部件加工精度和材

料耐磨性要求高。

(2) 冷凝器:有百叶窗式、丝管式(也称钢丝式)、翅片管式和内装式(冷凝器贴附在箱体后壁或侧壁板内侧)等。

(3) 干燥过滤器:使用 120~180 目的滤网,干燥剂使用 4A 级分子筛或硅胶。

(4) 毛细管:用内径 0.6~2 mm、长 1~4 m 的铜管制作。

(5) 蒸发器:有铝板吹胀式、铝板铝管或铜板铜管粘合的管板式、单脊翅片管式和翅片盘管式蒸发器(多在间冷式冰箱上使用)。

控制系统 控制系统通过接通或断开电源,控制压缩机的启停,进而将箱内温度控制在设定范围内(见温度控制器),保证电冰箱安全运转及自动除霜等(见时间控制器)。

分类 电冰箱按照制冷原理分为压缩式、吸收式、热电式等;按照箱门的多少分为单门冰箱、双门冰箱、多门冰箱(有的冷冻室做成抽屉式)等;按照箱内空气循环的方式,分为空气自然循环的直接冷却式冰箱和用风扇使空气强制循环的间接冷却式冰箱;按照对食品的贮藏方式和冷冻能力,分为冷藏箱、冷藏冷冻箱;按照箱内冷冻食品的贮藏温度,分为一星级(-6°C)冰箱,二星级(-12°C)冰箱,三星级(-18°C)冰箱和有冷冻能力(通常称为四星级)的冰箱(冷藏冷冻箱);按照冰箱在极端环境温度下的工作能力,分为亚温带型(SN,适于在 $10\sim 32^{\circ}\text{C}$ 环境温度下运转)、温带型(N,适用于 $16\sim 32^{\circ}\text{C}$)、亚热带型(ST,适用于 $18\sim 38^{\circ}\text{C}$)和热带型(T,适用于 $18\sim 43^{\circ}\text{C}$)冰箱;按照蒸发器的除霜方式,分为手动除霜、半自动除霜和自动除霜冰箱等。

工作原理 压缩式冰箱是使用最多的一种冰箱,其产量占冰箱总产量的 90% 以上。吸收式冰箱约占 5%。

电机压缩式冰箱 简称压缩式冰箱。它是由压缩机、冷凝器、干燥过滤器、毛细管(节流装置)、蒸发器组成封闭的制冷系统中充入氟利昂制冷剂,实现制冷功能的冰箱。压缩机吸入在蒸发器中蒸发吸热的制冷剂蒸气,经过压缩,成为高温高压(约为十几个大气压)蒸气,被送往冷凝器。冷凝器向外界空气散热,使高温高压蒸气被冷凝成液态制冷剂,经过干燥过滤器

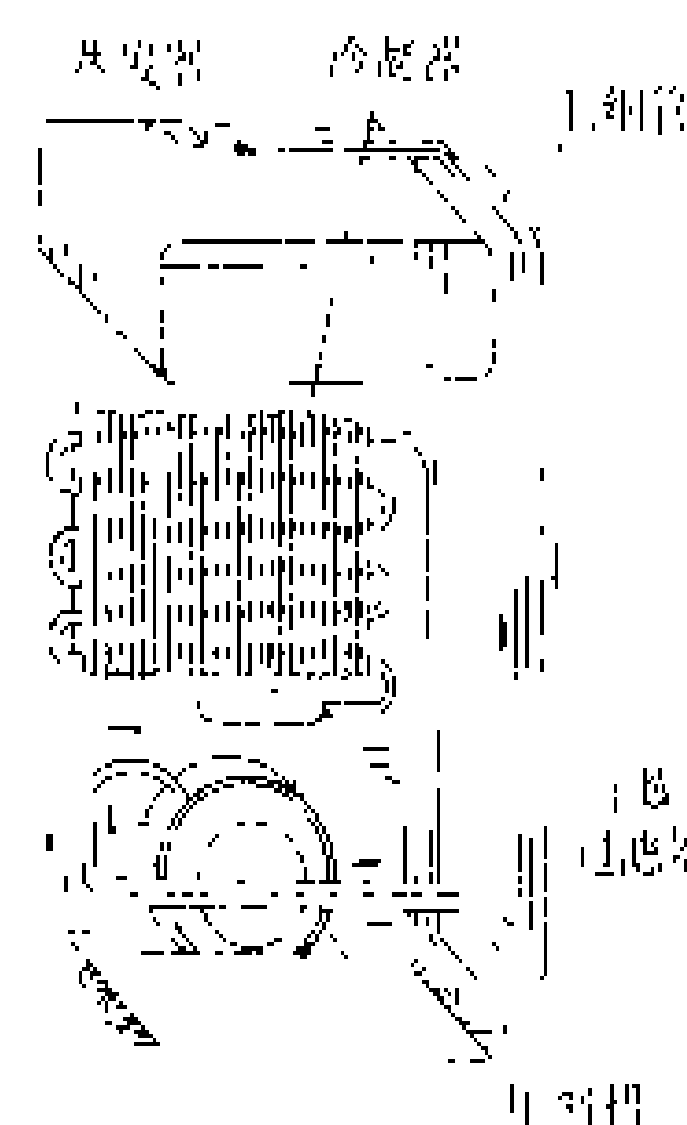


图 1 电机压缩式
冰箱制冷系统



滤掉混入系统中的微量杂质和水分，以防止在毛细管中发生“脏堵”或“冻堵”。然后，液态制冷剂经毛细管节流，送入蒸发器内，由于压力突然降低而激烈沸腾蒸发，同时吸收箱内被冷却物品的热量，产生制冷效果。如此循环往复，使箱内保持设定的低温。

单门压缩式冰箱结构简单，但由蒸发器围成的冷冻空间容量较小。双门压缩式冰箱设有独立的冷冻室和冷藏室，冷冻室容量较大，温度较低，能较长时间贮存冷冻食品。由于两个室分别开门，可以做到冷冻、冷藏的食品互不干扰，存取方便，热损失小。多门压缩式冰箱分别设有冷冻、冷藏蔬菜、冰温（温度为 -1°C 左右，且不结冰）等专用贮藏室，功能齐全，使用更为方便，并能实现食品科学的冷冻、冷藏或保鲜。

直接冷却式（直冷式）双门冰箱结构简单、耗电量较小，但箱内温度均匀性差，冷冻室除霜方便。间接冷却式（间冷式）双门冰箱（图2）箱内温度均匀性好，可自动进行除霜，但这种冰箱结构较复杂，耗电量较大。多门冰箱一般都为间接冷却式。

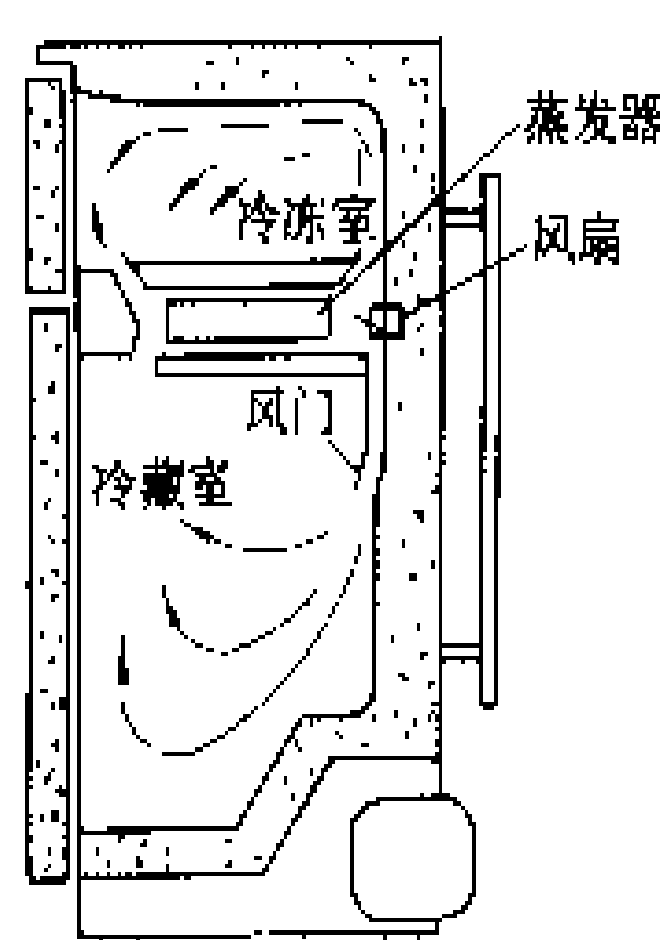


图2 间冷式冰箱结构示意图

凝成液滴返回发生器的外套管中。进入冷凝器的氨蒸气被外界空气冷却，放出热量，变为液态氨。液态氨进入蒸发器，并向着自吸收器的上方流入蒸发器的氢气中迅速蒸发扩散，吸收周围的热量，产生制冷效果。

吸收式冰箱系统内没有机械运转部件，无机械磨损，使用寿命长。由于运转时没有振动和噪声，特别适用于医院、卧室等需要保持安静环境的场所。这种冰箱可以使用电、煤气、煤油、液化石油气、天然气、太阳能等多种能源制冷，因而也适用于电力不足和无电源的农村、林牧地区、边防哨卡、船舶等。吸收式冰箱比相同功率的压缩式冰箱的制冷量小，故首次降温速度慢，使用电能制冷时，耗电量大于压缩式冰箱。

热电冰箱 利用半导体材料的热电效应实现制冷的冰箱。将一块P型和一块N型半导体连接成电偶对，接通直流电源，在两个接头处分别形成“冷端”和“热端”。如果不断移走热端的热量，使其保持一定的温度，则冷端即开始制冷。实际应用时，要把电偶对串联或并联起来组成热电堆，热端置于箱外向周围介质（空气或水）散热，冷端置于箱内吸热，成为热电冷藏箱。

热电冰箱无机运动部件，使用时没有振动和噪声，寿命长，维修简便。这种冰箱不用制冷剂，没有污染，调节工作电流的大小即可改变冰箱的冷却速度和制冷温度。这种冰箱体积可以做得很小，但由于制冷效率低、半导体材料昂贵，发展受到限制。

选购注意事项 选购电冰箱时应注意以下几点：

①外形轮廓清晰，造型美观，色调柔和舒适，表面无划痕，电镀件光泽明亮。②3~5口入的家庭可选购150~230 L的双门冰箱，其冷冻室容积在30~50 L左右（有的更大些），可以满足贮存冷冻食品的需要。已经购置了单门冰箱的用户，如果想增加冷冻室容积，可以再添置一台100 L左右的冷冻箱。③冰箱内胆不应有裂痕或凹陷，用手轻轻拍打，不能有不实的“啪啪”声。门封四周应平直，四角无凹凸不平或裂缝。箱门临关闭前，应在磁性门封的吸力下自动关闭。④接通电源，听一听冰箱运行时噪声和振动的大小，并按说明书进行适当调整。转动温度控制器旋钮，应灵活自如。

使用与维护 冰箱应放在室内避开日晒、远离热源、通风良好的地方，同时冰箱应进行水平调整，以利电机稳定工作。背挂式冷凝器（钢丝式或百叶窗式）与墙壁的距离应在10 cm以上。热食物应在箱外冷却到室温后再放入箱内。箱内贮存的食物不宜过满，以免影响冷气对流。放入冷冻室进行冷冻贮存的食物应用塑料袋包好，或放在器皿内。蔬菜水果放入冰箱果菜盒内贮存前，应擦干表面水分。尽量减少开门次数，缩短开门时间，以减少冷气外逸，节省电能。搬运冰箱时不可倒置或横放。冰箱长期停用时，应用软布蘸中性洗净剂

吸收式冰箱 利用吸收-扩散制冷原理制成的一种冷藏冷冻装置（图3）。由发生器、精馏器、冷凝器、蒸发器、吸收器、贮液罐组成封闭的制冷系统，系统中充入氨（制冷剂）、水（吸收剂）、氢（扩散剂）三种组分工质。吸收式冰箱靠工质的液位差和比重差产生自然循环实现

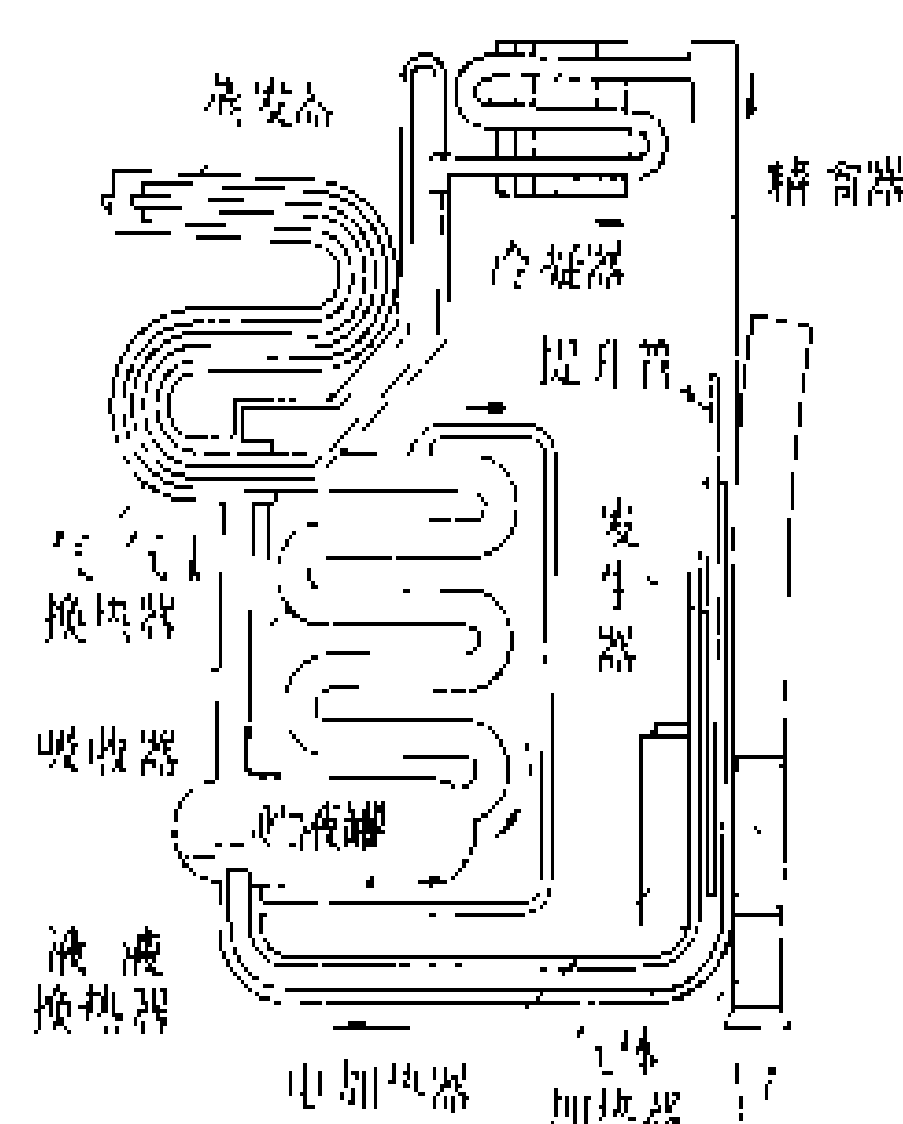


图3 吸收式冰箱制冷系统

制冷。来自贮液罐的浓氨液经液-液热交换器换热后进入发生器中，发生器中的浓氨液受到加热器（电或气体加热器）加热产生气泡，由于热虹吸的作用，带气泡的氨水溶液自提升管上行，进入发生器的上部时气泡破裂，含有水蒸气和氨蒸气的混合气体进入精馏器，并在其内分馏。由于氨蒸气的冷凝温度低，水蒸气的冷凝温度高（在大气压力下，氨蒸气在低于 -33.4°C 时液化，水蒸气在低于 100°C 时液化），所以，氨以气态进入冷凝器，水蒸气则

擦洗箱内外表面,再用软细布擦干,放在干燥通风的室内,箱门常打开通通风,保持箱内干燥。

发展趋势 压缩式电冰箱的发展趋势是大容积、多功能、多种箱温、节能、应用微电子技术。20 世纪 80 年代以来,容积在 300 L 以上,使用微机控制,具有快速冷冻、快速冷藏、半解冻等功能,箱内设有独立的冷冻室、冷藏室、冰温激冷室、冷藏激冷室、高保鲜蔬菜室的多门电冰箱已经问世,它对于食品的科学冷冻冷藏有着重要的作用。冰箱上使用的制冷剂 R12 和发泡剂 R11 是对臭氧层产生破坏作用的氯氟化碳类物质,为此,世界各国正在研制旨在保护臭氧层的 R12 和 R11 的替代工质。

参考书目

西安制冷学会编,家用电冰箱,上海:上海科学技术出版社,1986

北京成人教育学院编,电冰箱与空调器原理,北京:北京出版社,1987

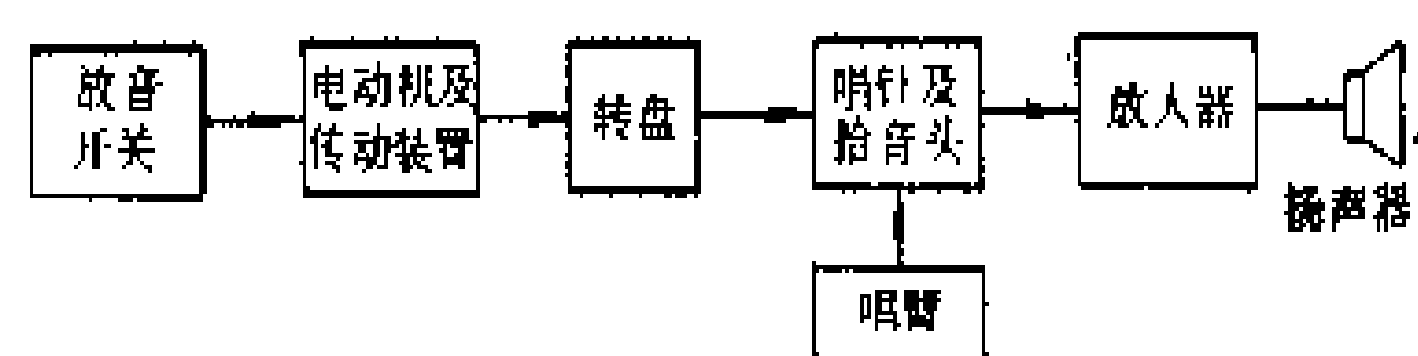
(张友良)

dianchangji

电唱机 (record player; player) 借助电动机驱动唱片旋转,将唱片上记录的信号转变为声音的电声器具。

电唱机的雏型是 1877 年美国 T. A. 爱迪生 (Thomas Alva Edison) 发明的留声机。T. A. 爱迪生根据电话原理,把一根特制的钢针安在受话器铁片中央,使其振动划在一张锡箔上,再根据钢针划出的纹路,将其振动转移到另外一块膜片上,声音便可重放出来。这种唱机利用手摇的动力做功而动作。

电唱机的基本工作原理如图所示。放音开关接通后,电机启动,通过传动装置或直接带动转盘旋转,转盘上放置唱片。唱针在唱片的槽纹中循迹运动,所受的机械振动由拾音头拾取,转变为微弱的音频电信号,然后送入放大器进行处理和放大,再推动扬声器发声。



电唱机的基本工作原理

电唱机基本上由拾音、传动和电路三大部分组成。

拾音部分主要包括唱针、唱头和唱臂。唱针位于唱头的端部,工作时与唱片槽纹直接接触。唱头又名拾音头,是一种机电换能器,可分为速度型和幅度型两大类。前者的输出电压和唱针的振动速度成正比,分为动圈式、动磁式、动铁式等多种;后者的输出电压和唱针

的振动幅度成正比,分为压电式、电容式、半导体式、光电子式等多种。唱头的质量好坏对唱机的音质影响甚大。唱臂是安装唱头并使之能够正确循迹放唱的重要部件。它给予唱针适当的、规定的针压,而且可由使用者方便地进行调整,它使唱针在唱片的垂直方向上保持最佳的工作角度。

传动部分由电动机、传动装置和转盘组成。它能使转盘以规定的转速(通常为 $33 \frac{1}{3} \text{ r/min}$ 或 45 r/min) 稳定地运转。电动机和转盘的耦合有三种主要方式:靠轮传动方式、皮带传动方式和直接驱动方式。其中以最后一种方式的传动精度为最高。

电路部分包括放大、放音均衡、高通及低通滤波以及音调控制、响度补偿等电路,用以完成对低电平电信号的放大、对节目源信号进行频率补偿、降低噪声干扰和实施音量、响度控制等任务。

电唱机有多种分类方法。按声道分,有单声道唱机和立体声唱机;按转速分,有单速唱机、双速唱机和四速唱机;按操作方式分,有全手控唱机、半自动电唱机、全自动电唱机和自动换片电唱机等。它们都在向高性能指标、信号数码化的方向发展。

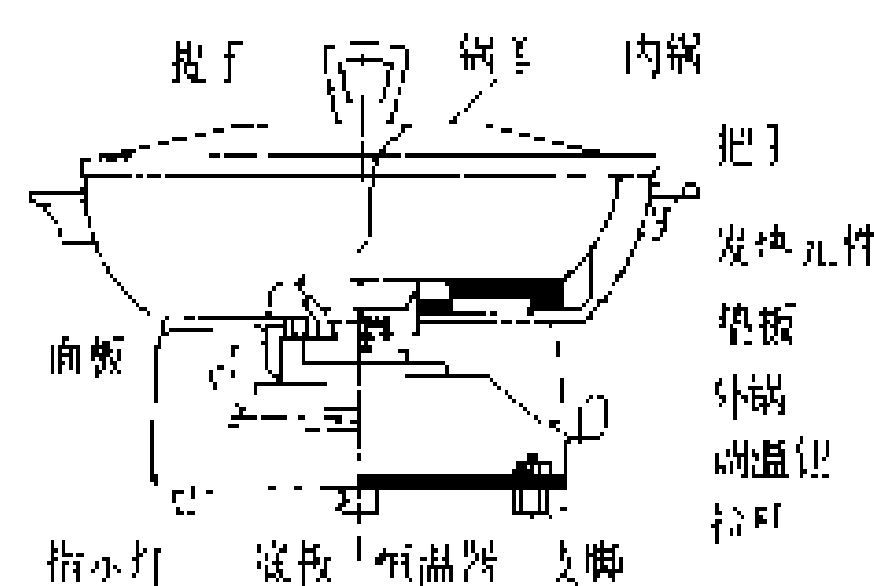
(潘宗福)

dianchaoguo

电炒锅 (electric wok) 利用电热获得较高温度烹饪食物的厨房器具。按其控制功能分为自动式、非自动式两种。前者有自动恒温装置,后者无恒温功能。其规格通常以耗电功率的大小来表示,家用电炒锅功率一般为 700~1200 W。

自动式电炒锅又分为自动中心接触式恒温器电炒锅和插入式恒温器电炒锅。

图示为自动中心接触式恒温器电炒锅结构。它由内锅、外锅、发热元件、恒温器、锅盖等组成。电炒锅的内锅和外锅均为金属制品,发热元件有云母片式和电热管式两种,装在内锅底



自动中心接触式恒温器电炒锅结构

部的中央位置。在烹饪食物的内锅里面,专门涂上一层薄薄的聚四氟乙烯材料,所煎炒的食物就不会烧焦和粘着锅底。自动中心接触式恒温器大多为双金属片式控温器,它借助于调节机构的弹簧压力,压在内锅底部,通过锅底传热使恒温器动作,从而保证锅内工作温度。调温钮通过调节机构可改变弹簧对锅底的压力大

电 器

小,从而调节预定恒温范围。

插入式恒温器电炒锅将恒温器的感温部分插进锅底,以感知锅内温度而动作。这种电炒锅结构简单,没有外锅,发热器焊在锅体底部中心处。恒温组件装在一个整体的电热插销上。电热插销包括插销体、恒温器、感温探头、限流电阻、指示灯等。双金属片恒温器的感温部分装在感温探头中,把它插入锅体底部,感知锅底温度高低。恒温器可调节锅内工作温度,而且可以预设温度和切断电源。

(张应端)

dianchui feng

电吹风 (hair dryer; hair drier) 用于头发吹干和整型的整容电器(见家用电器),又称吹风机或干发器。吹风机按电动机型式,可分为单相交流感应式,交直流两用串励式和直流永磁式三种(如图1、图2、图3所示);按送风方式,可分为轴流式和离心式两种。

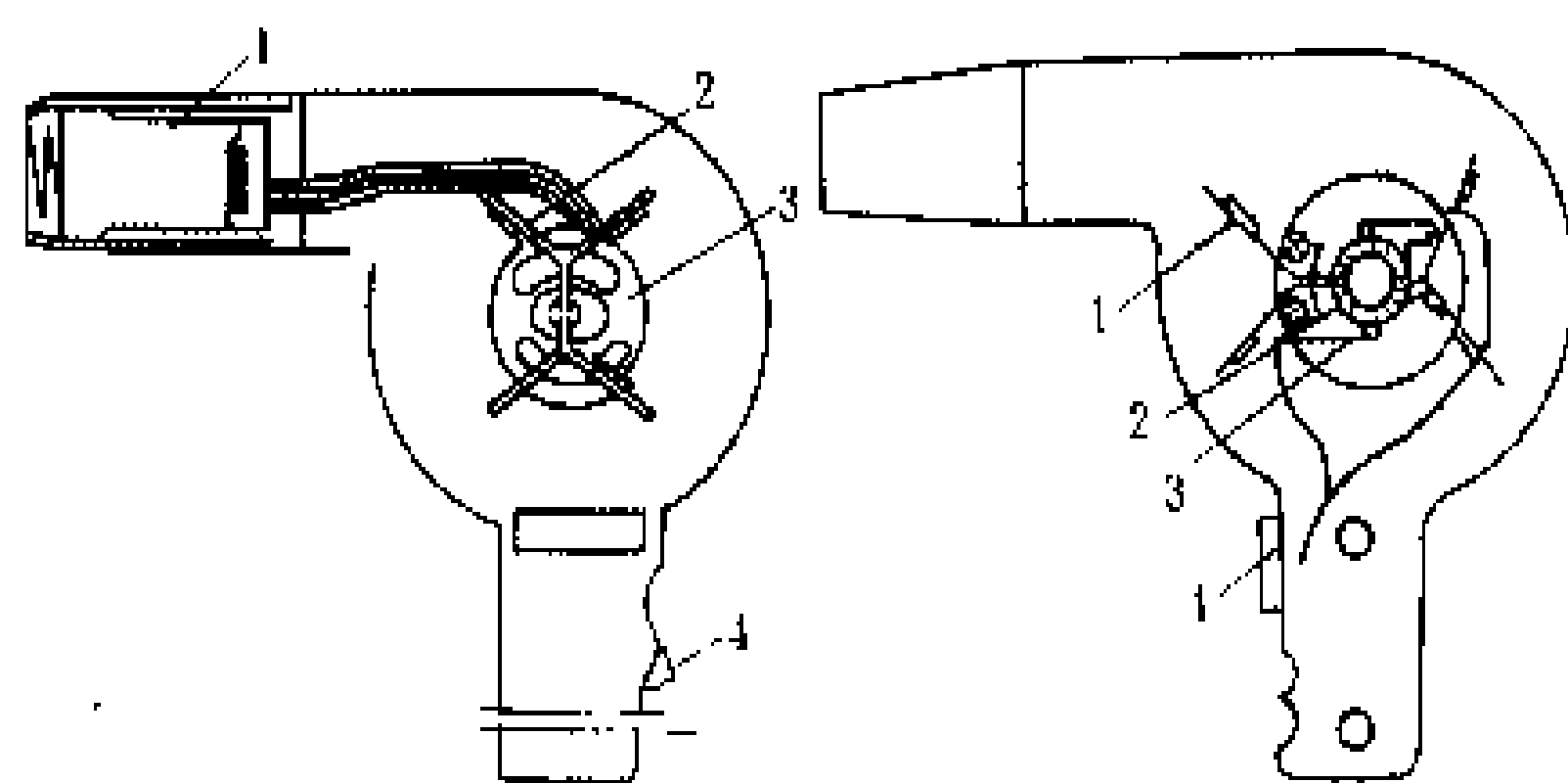


图1 感应式电吹风的结构示意图

1—电热元件; 2—风叶;
3—电动机; 4—开关

图2 串励式电吹风的结构示意图

1—风叶; 2—电机的整流子;
3—电机电刷; 4—开关

电吹风主要由壳体、电动机、风叶和电热元件组成。

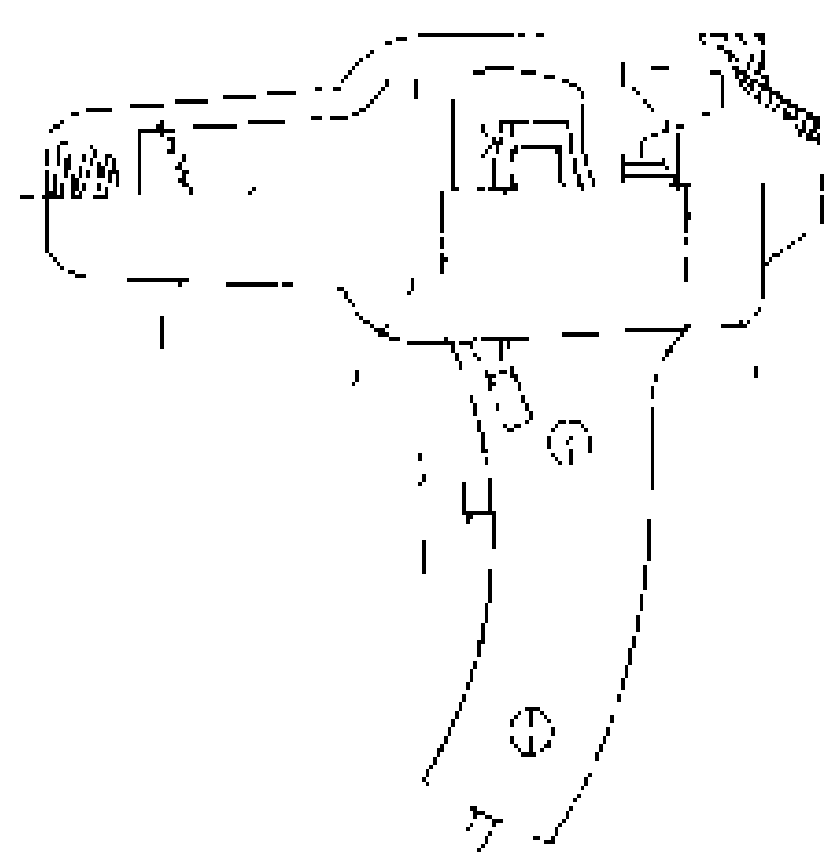


图3 永磁式电吹风的结构示意图

1—电热元件; 2—永磁电机;
3—晶体管; 4—开关; 5—风叶

电吹风主要由壳体、电动机、风叶和电热元件组成。壳体既是结构保护层,又是外表装饰件,要求造型美、重量轻,一般用金属薄板冲压成型后表面镀铬,或用工程塑料注塑成型。感应电动机成本低、坚固、噪声小,但转速低、起动性能差,多用于离心式电吹风;串励式和永磁式电动机转速高,但噪声较大,对无线电设备有干扰,多用于轴流式电吹风。风叶用金属薄板

或工程塑料制成,要求其产生的风量大、风损小。电热元件一般是将电热丝缠绕在瓷质或云母支架上而成,多数电热元件上装有过热保护装置,并可调节加热温度,较新型的电吹风采用PTC电热元件,其本身即有过热保护功能。

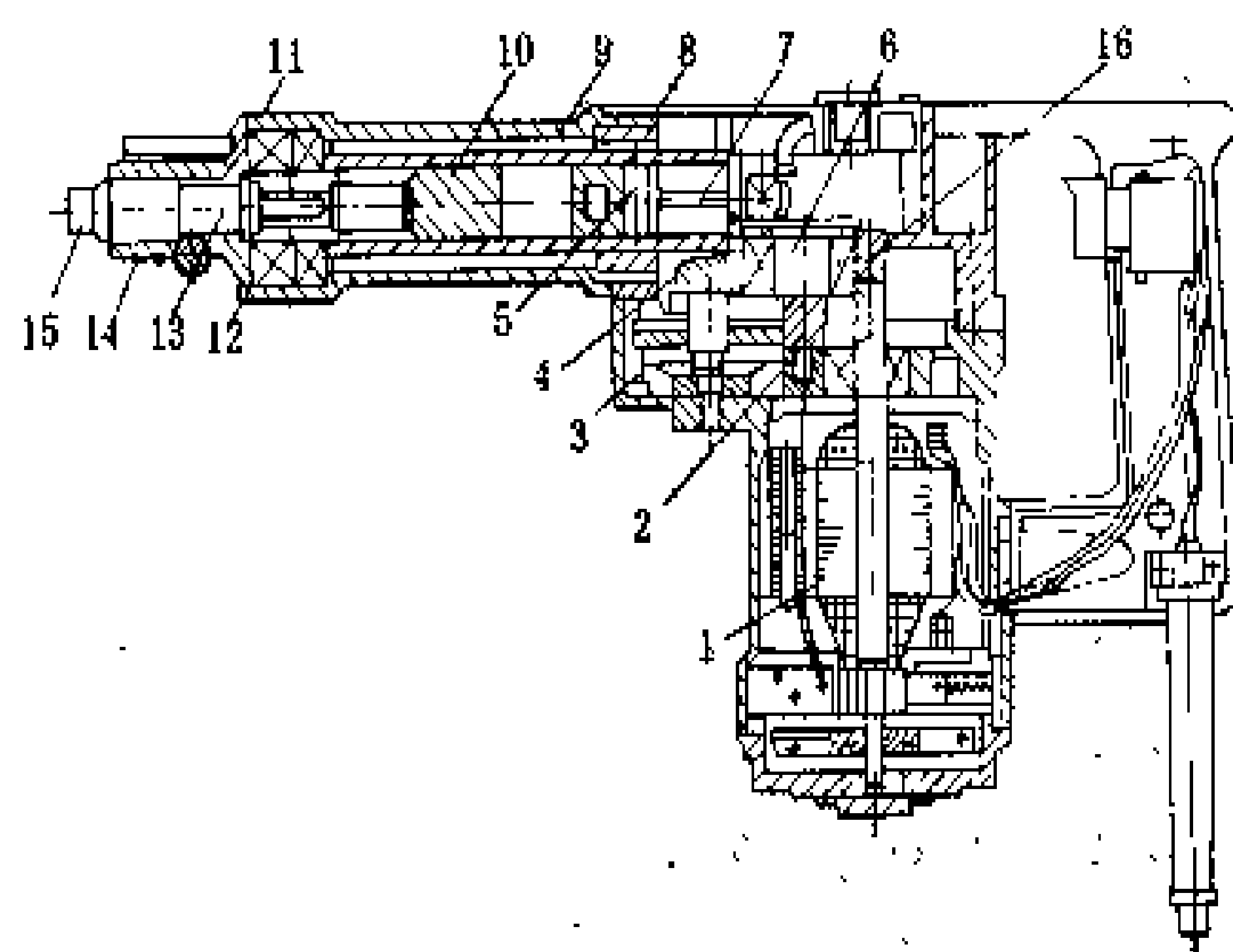
电动机与风叶直接相连,通电后,电动机带动风叶转动,从进风口吸入的空气,经过由开关控制的电热元件,变成从出风口送出的冷风或热风。通常只有当电动机通电带动风叶转动时,电热元件才能接通加热,以避免机件过热而损坏。电吹风送风温度的简易调节方法,是转动壳体后面的挡板;有控温开关时,可分档调温。有的电吹风,通过改变外接电源电压,实现风量和风温的无级调节。

市售的电吹风,功率范围一般为350~1250 W。家庭用宜选小功率机型,使用时间虽稍长,但仍可达到头发吹干和整型的目的,而且不易烧焦头发。

(刘有常)

dianchui

电锤 (electric rotary hammer) 以冲击为主并辅以钎杆旋转运动进行打孔的电动工具。电锤用于混凝土、石料及类似材料的打孔。用电锤打孔并使用金属膨胀螺栓可提高各种管线、器具等安装速度和质量,降低施工费用。



电锤的结构

1—电动机; 2, 3—齿轮; 4, 5—锥齿轮; 6—偏心轴; 7—连杆; 8—压气活塞; 9—气缸套; 10—冲击活塞; 11—转套; 12—六方套; 13—钎杆; 14—钻套; 15—电锤钻; 16—过载保护装置

电锤由电动机、机壳、冲击机构和手柄等组成。冲击运动由偏心连杆机构带动压气活塞在气缸套内作往复运动而产生,具有较大的冲击功;转钎运动由直齿锥齿轮付驱动气缸套与六方套一起旋转,并传递转矩给钎杆,与冲击机构同时形成冲击带旋转的复合运动,见

图。电锤以冲击为主，旋转为辅，又锤又转，从而使钎杆推进，逐渐打成所需的圆孔。电锤都设置钻卡，供快速拆装电锤钻的钎杆。电锤选用单相串励电动机，额定输入功率为 480~560 W。

打孔时将电锤顶住作业面后再启动操作，以避免空打而影响电锤使用寿命。向下打孔时由其自重进给，不需施加轴向压力；向其他方向打孔时只需施加 50~100 N 轴向压力即可。如果用力过大，对打孔速度、电锤及电锤钻的使用寿命反而不利。

电锤在打孔前必须探察打孔的作业处内部有无钢筋，在确认无钢筋后才能打孔，以避免电锤在掘进中硬质合金片冲撞钢筋而崩裂刃口。

见家用电动工具。

(李邦协)

diancijiabao

电磁搅拌 (electromagnetic stirring) 由电磁力引起的金属熔液的搅拌。位于交变电磁场中的金属熔液内部会产生感应电流。该电流与磁场作用产生电磁力，促使金属熔液流动。在空间有限的区域，如熔炼炉内，这样的流动会使金属熔液得到电磁搅拌。电磁搅拌能促使金属熔液的温度和合金成分均匀。但过强的搅拌会使耐火材料炉衬的蚀损增加和使炉渣混进金属熔液中。

许多种熔炼炉内存在由其自身电磁场所引起的电磁搅拌。多数熔炼炉，其自身的电磁搅拌就足以满足冶金要求。少数熔炼炉，如工频坩埚式感应熔炼炉，其自身的电磁搅拌过强，须采取措施加以抑制。但对某些熔炼炉和冶金装置，由于自身搅拌不足，为加强搅拌，可辅以人工或其他方式的搅拌，如配备专用的电磁搅拌装置。

电磁搅拌装置的设备投资大，功率因数和效率都很低（如用于炼钢电弧炉功率因数和效率分别只为 0.5 和 0.05），限制了它的应用。

电磁搅拌装置 主要由电源和电磁搅拌器两大部分组成。为了使交变电磁场能深入金属熔液的内部，所用电源主要是两相低频电源，过去曾用低频交流发电机，现在则多用晶闸管变频电源。电源频率一般在 10 Hz 以下，金属熔液层愈厚，电源频率应愈低。有时，也用两相或三相工频电源。

电磁搅拌器的结构型式很多，大体上可分旋转磁场搅拌器、移动磁场搅拌器和垂直搅拌器三种。

旋转磁场搅拌器类似感应电动机的定子，呈中空圆柱形，有铁芯和两相或三相绕组。当把这样的搅拌器套在金属熔液容器（如连续铸钢生产线中连铸机的水冷铜结晶器）外面并通上电，则搅拌器内表面上会产生

一个旋转磁场。这个磁场作用于金属熔液，使之象电动机转子那样跟着旋转，得到旋转搅拌。因金属熔液有粘性，旋转速度是很慢的。这种搅拌器可用在生产边长小于 300 mm 的方形钢坯或直径小于 350 mm 的圆形钢坯的连铸机上。

移动磁场搅拌器用来产生移动磁场，使金属熔液得到移动搅拌。这是一类适用面最广的电磁搅拌器。其结构型式与上述定子也相似，但把定子一侧沿轴向切断后展开。这时旋转磁场转变成成为移动磁场。按定于展开和其结构形状改变的程度，这类搅拌器可分为舟形、板形、瓦形、筒形等几种。舟形搅拌器形似部分展开的定子，主要用于炼钢电弧炉（见图 1）。搅拌器内而紧

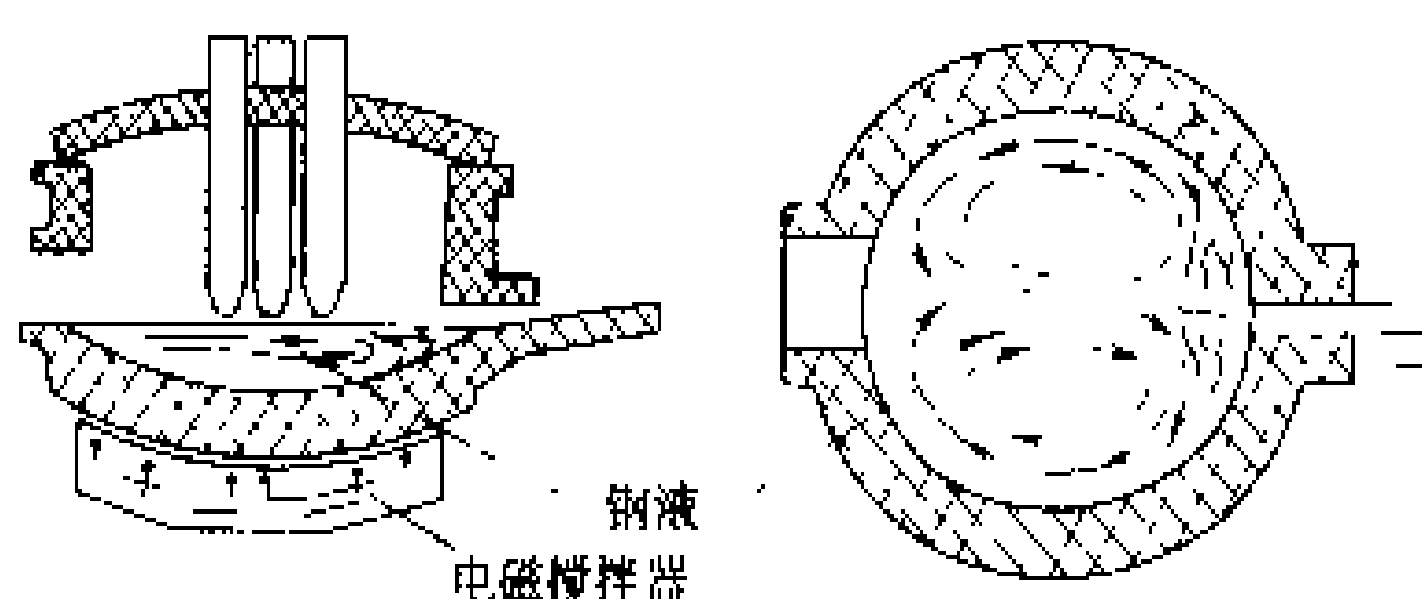


图 1 炼钢电弧炉电磁搅拌示意图

贴在炼钢电弧炉的炉底上（炉底钢板要用非磁性钢，以便磁场能透入炉内）。磁场移动方向在出钢口和出渣口的连线上。两相绕组中通电后，移动磁场将使金属熔液得到搅拌。两相绕组的电流

相序可互换，以便炉子出渣时把熔渣汇集到出渣口附近。板形搅拌器类似完全展开的定子，其作用原理与直线电动机相同，用于生产板坯的连铸机和 ASEA—SKF 型钢包精炼炉（搅拌器位于

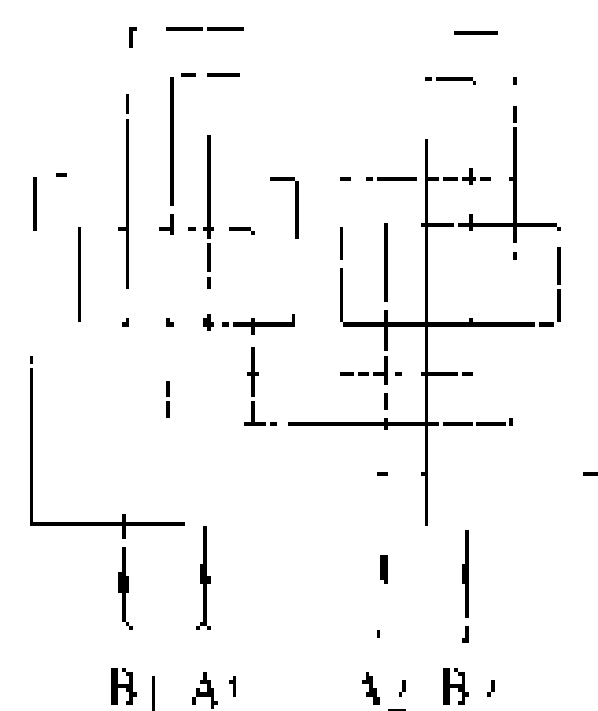


图 2 两相搅拌器接线图

钢包外侧），可使金属熔液得到单方向搅拌。筒形搅拌器是瓦形搅拌器的弧面扩大成为圆柱面或其他柱面形状后的一种搅拌器，用途同瓦形搅拌器，但金属熔液沿搅拌器内壁方向上升（或下降）而沿中轴线方向返回。

垂直搅拌器与无心感应熔炼炉的单相感应器类似。垂直于搅拌器中轴线的电磁力会驱使金属熔液分上下两段分别搅拌。这种搅拌器用于连铸机上的某些部位。

还有其他类型的搅拌器，如把旋转搅拌和移动搅拌结合在一起的螺旋磁场搅拌器等。用于真空电弧炉的稳弧线圈，同时也可以起到使结晶器熔池中金属熔液得到旋转搅拌的作用。

历史和发展 利用电磁搅拌装置对金属熔液进行

搅拌的设想是库尔思(Kuerth)于1917年提出的。1933年瑞典制成筒形移动磁场搅拌器,1934年在中频无心感应熔炼炉上得到应用。1949年和1965年,在瑞典,电磁搅拌装置先后在炼钢电弧炉和钢包精炼炉上得到应用,并在这些电炉和连续铸钢生产线中得到推广。其后,随着自身电磁搅拌已足够强的高功率和超高功率电弧炉以及吹氩搅拌式钢包精炼炉的发展,电磁搅拌装置在电炉上的应用日渐减少。但在连续铸钢生产线中,由于电磁搅拌器能显著提高钢的质量,得到了广泛的应用。

(章文谦 蒋晓吉)

dianciti

电磁铁 (electro-magnet) 用电流产生并保持其磁场的磁铁。电磁铁能将电磁能转变为机械能,用来操动、牵引机械装置和起重、搬运、装卸铁磁性物体。

电磁铁主要由线圈、铁芯和可动的衔铁组成[见图1(a)]。线圈中的励磁电流产生磁通 ϕ ,磁通 ϕ 从铁芯穿过气隙,经过衔铁再回到铁芯形成封闭磁路[见图1

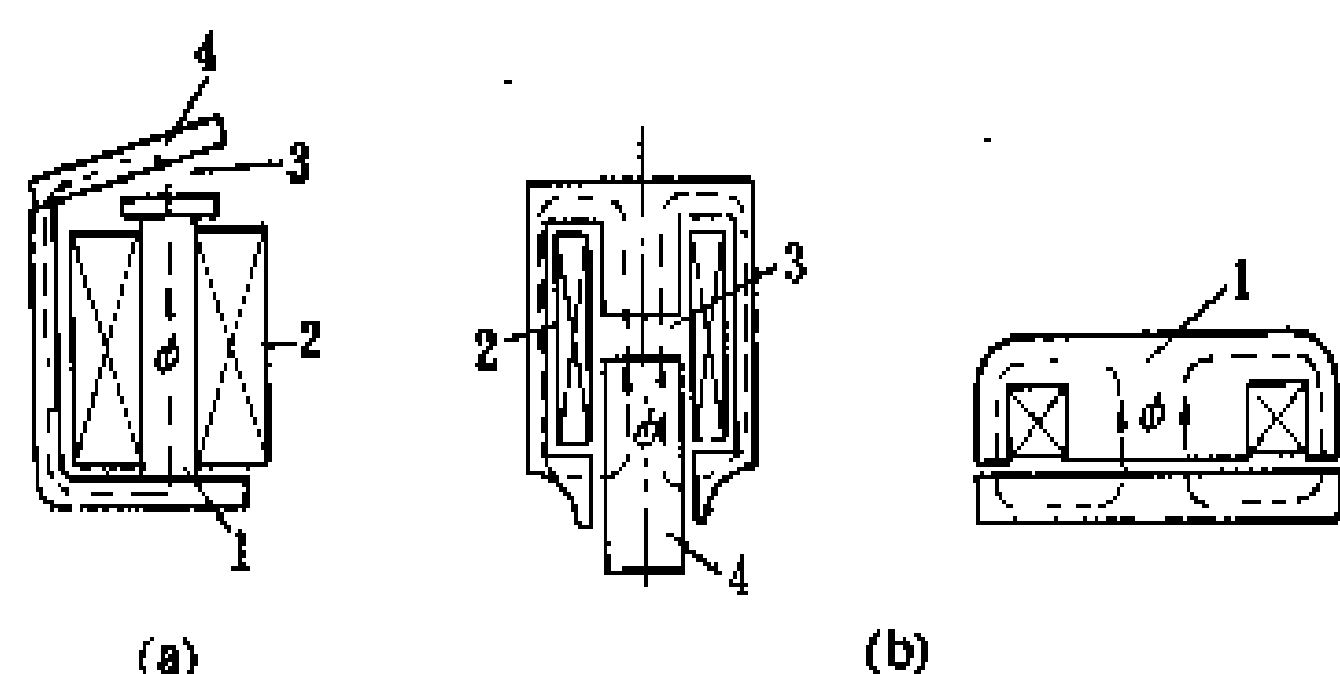


图1 电磁铁的工作原理

(a) 组成; (b) 工作原理

1—铁芯; 2—线圈; 3—气隙; 4—衔铁

(b)],磁通 ϕ 穿入衔铁时对衔铁产生电磁吸力,将衔铁吸向铁芯,可动的衔铁带动机械负载做功。对于交流电磁铁,由于线圈通以交流电流,它所产生的磁通 ϕ 随时间而变化,其产生的吸力也是随时间变化的,因此会产生铁芯的撞击和很大的噪声。为了免除噪声,交流电磁铁的铁芯端面上装有分磁环,其目的是将穿过气隙的磁通分成两部分,如图2所示的 ϕ_1 与 ϕ_2 。由于分磁环是一个1匝的短路线圈,它有一定的阻抗,使得磁通 ϕ_1 与 ϕ_2 的相位不同,磁通 ϕ_1 产生吸力的过零时刻与磁通 ϕ_2 产生吸力的过零时刻在相位上错开,使合成的吸力不会降低到零,减少了铁芯的撞击,从而降低了噪声。

电磁铁按结构分为拍合式、螺管式、盘式电磁铁等;按动作方式分为直动式、转动式电磁铁;按电流性质分为直流电磁铁和交流电磁铁,交流电磁铁又分为单相交流电磁铁和三相交流电磁铁;电磁铁按用途可

分为牵引电磁铁、制动电磁铁、起重电磁铁。

(1)牵引电磁铁,牵引、排斥机械装置用的电磁铁。

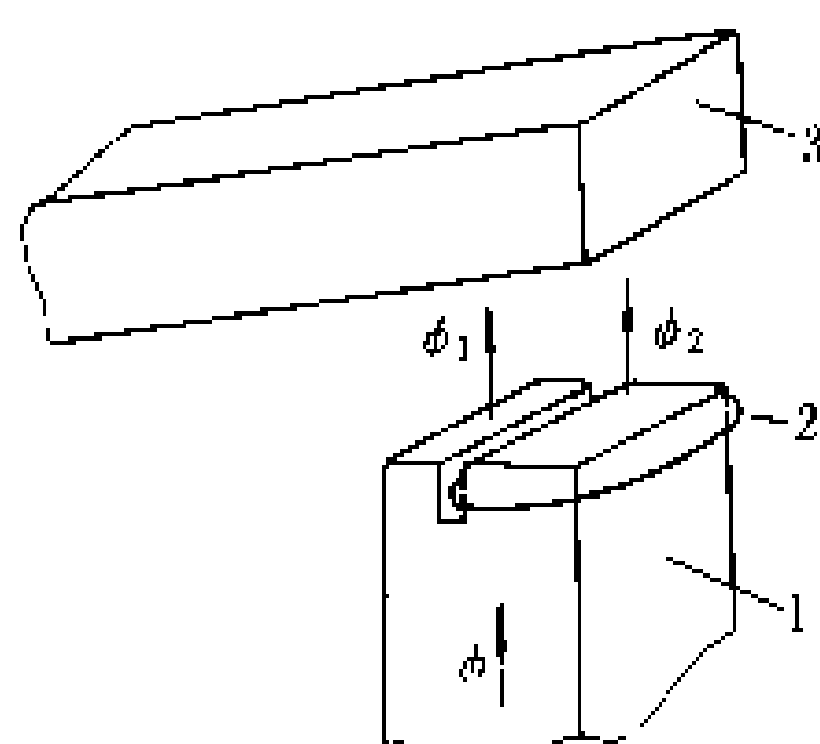


图2 单相交流电磁铁铁芯端面上的分磁环

1—铁芯; 2—分磁环; 3—衔铁

如用于机床及自动控制系统中的电磁操动机械,根据其工作行程的长短分为长行程牵引电磁铁和短行程牵引电磁铁,行程长时多采用螺管式;

(2)制动电磁铁,

操动制动器作机械制动用的电磁铁。如电磁吸力通过液压传递

给制动机构作为驱动力的电磁铁称为液压制动电磁铁;

(3)起重电磁铁,搬运或装卸铁磁性物件的电磁铁,主要用于冶金、铸造、机械制造及运输等部门中,起重和搬运钢材、钢锭及废旧钢铁等铁磁性物件,一般采用盘式结构。其特点是磁极面积较大,磁路较短,故能获得很大的吸力。

(甘懋云 方鸿发)

diancizao

电磁灶 (induction coket) 一种利用电磁感应加热原理,使金属锅体底部在交变磁场中产生涡流,形成热量,以烹饪食物的高效厨房器具。按感应电流频率的高低可分为低频(50 Hz或60 Hz)电磁灶和高频(1500 Hz以上)电磁灶两种。功率可在200~1500 W内连续可调。

电磁灶主要由灶体、加热部分、控制部分组成。灶体采用金属薄板制

成。其加热原理如图1所示:加热部分包括烹饪食物的烹饪容器、灶台台板、感应线圈等。烹饪容器即锅体可用

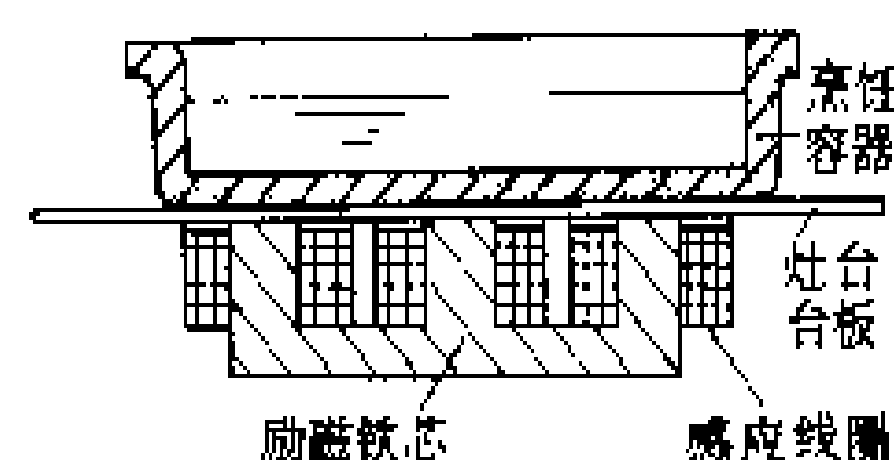


图1 电磁灶加热部分

任何金属制成。一般采用铝铁夹层板或不锈钢夹层板锅体。试验表明,以单一材料制成的锅体比用不同复合金属板制成的锅体的热效率低得多。所以电磁灶的专用锅体大多制成“不锈钢—铁—不锈钢—铝”四层复合板的高效平底锅,其热效率高达80%以上。感应线圈是电磁灶的关键元件,它的电感量和逆变电路中的电容值,决定了感应电流的频率高低。电磁灶控制原理如图2所示,交流电源经整流后,向逆变电路供电并产生高频振荡电流,这个电流经过感应线圈(也称加热线



圈)后,产生交变磁场并穿过搁板进入锅底,在锅底形成称为“涡流”的感应电流,这些涡流克服锅底内阻流动时,便产生热量,从而加热锅体。当负荷(锅体)大小变化时,逆变电路将引起感应线圈阻抗变化并反馈到控制回路,便按照不同负荷对逆变电路进行连续调节,达到自动控温的目的。但当负荷超载时,过载开关动作,切断电源,继电器触点打开,电气装置各元件停止工作。

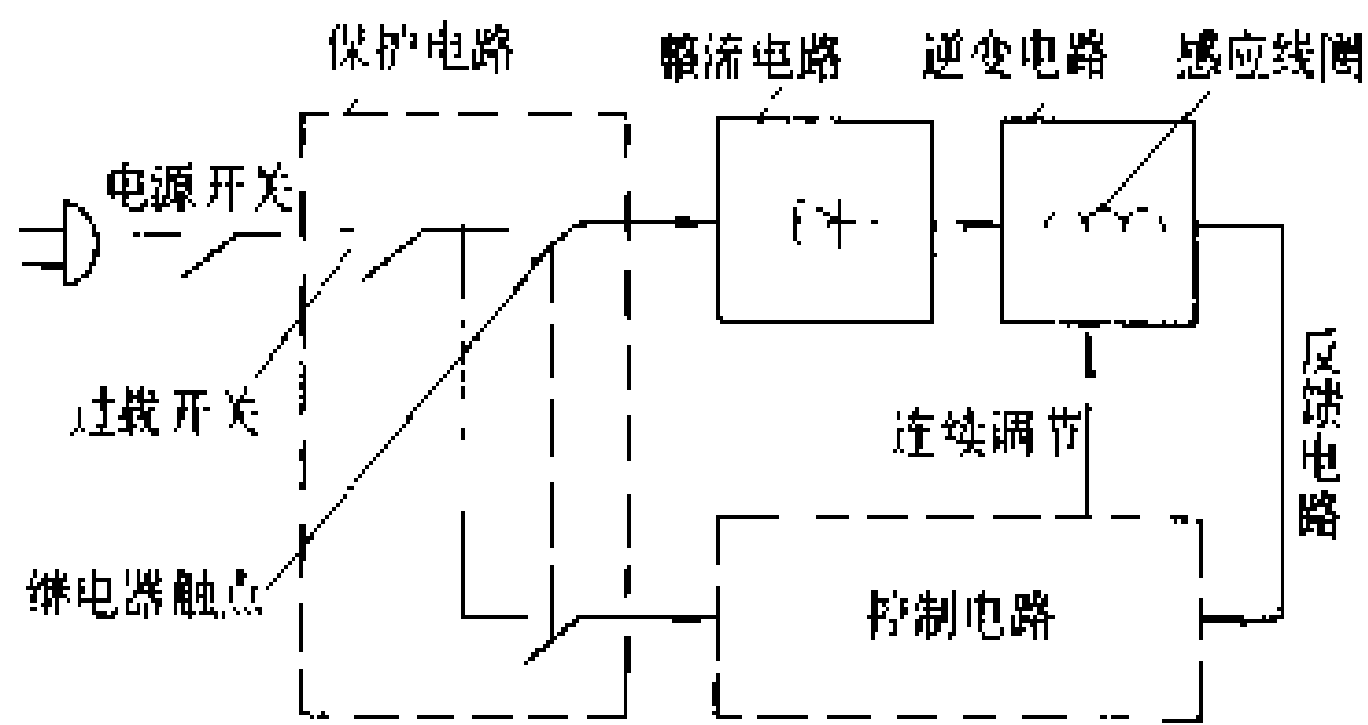


图2 电磁灶控制原理图

20世纪20年代已有将电磁感应加热原理用于烹饪的专利,但未付诸实用。1972年,美国西屋(Westing-house)公司将世界上第一台电磁灶投放市场。1973年,日本的电磁灶也开始商品化。80年代以来的新型电磁灶,都具有自动控制发热功率、烹饪温度和时间等多种功能。采用微处理机控制的电磁灶,灶上装有感应式触摸按钮,只要预定程序输入后,整个烹饪过程可完全达到自动化。电磁灶具有安全、卫生、节能的特点。

(张应端)

dianci zhuancha liheqi tiaosu

电磁转差离合器调速 (speed control by electromagnetic slip clutch)

借助电磁转差离合器实现笼型感应电动机调速的技术,又称电磁滑差离合器调速。这种调速方法可实现无级调速,调速范围一般可达10:1。

在笼型感应电动机转轴上装上一个电磁转差离合器,并由晶闸管控制装置控制离合器励磁绕组的电流,改变这一电流,即可调节与离合器连接的机械负载的转速。通常把电磁转差离合器、笼型感应电动机组成一体,称为电磁调速感应电动机,又称滑差电动机。

滑差电动机从结构上可分为组合式和整体式两种。电磁转差离合器的磁极结构又可分为凸极式、爪极式和感应子式三种。图1为电磁转差离合器调速原理图。图中的电枢为铸钢制成的圆筒,由电动机拖动旋转,称为主动部分。磁极上装有励磁绕组,为从动部分。被拖动的生产机械连接在从动部分的转轴上,励磁绕

组的引线接于滑环上,通过电刷与晶闸管控制装置相接。当励磁绕组通入直流时,产生的磁通通过气隙进入电枢,若感应电动机带动电枢旋转,则电枢铁芯切割磁场产生感应电动势和涡流,电枢中的涡流与磁极磁场相互作用产生电磁力和电磁转矩,从而使从动部分拖动生产机械旋转。运行中从动部分必须与主动部分保持一定的转差才能产生电动势和电流,也才能产生电磁转矩。只要改变励磁电流的大小,即可改变气隙磁场的大小,从而可改变电磁转矩和转速的大小。用晶闸管控制装置平滑地调节励磁电流,即可实现无级调速。图2(a)表示了在不同励磁电流 I_L 下的机械特性。

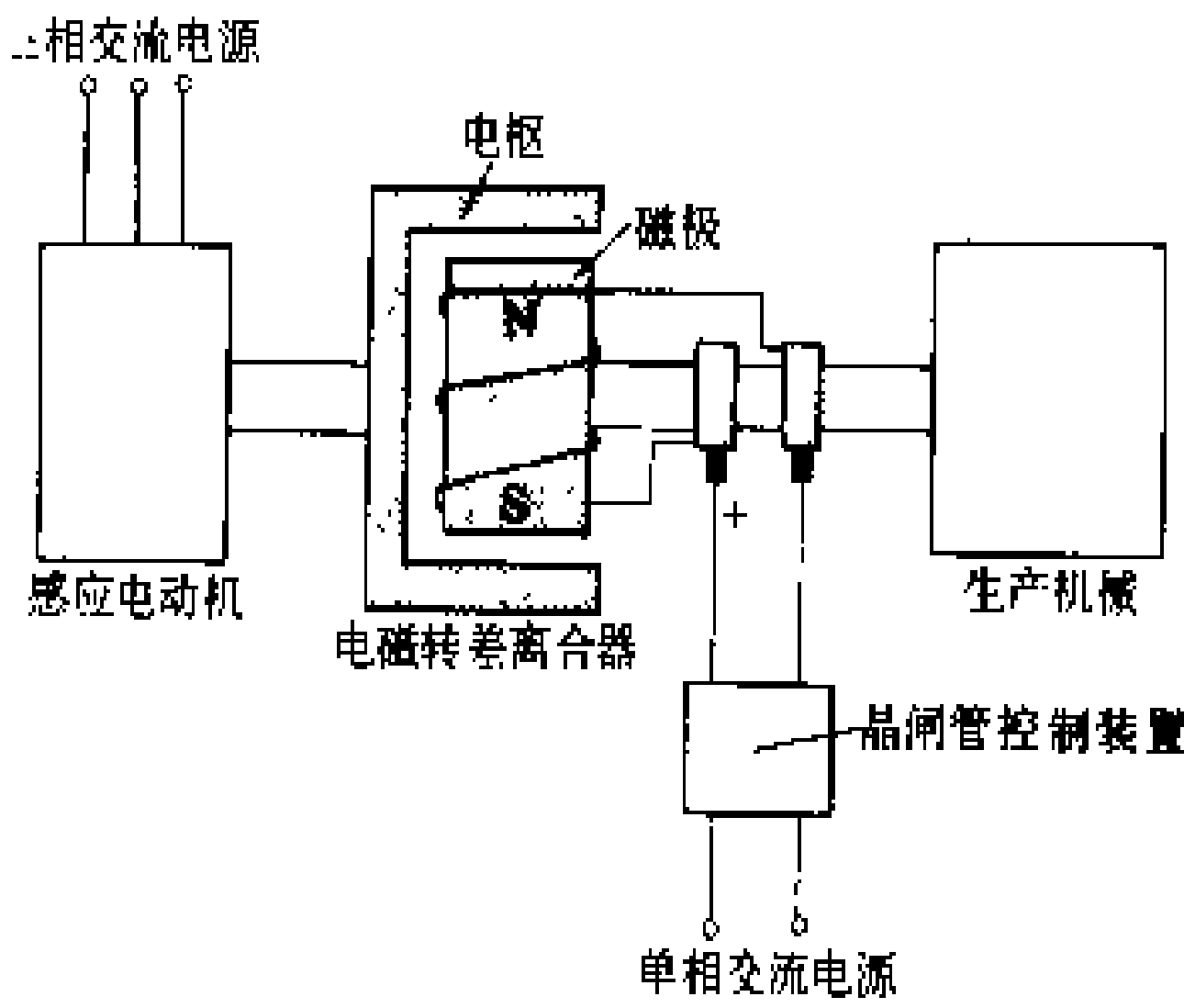


图1 电磁转差离合器调速原理图

图2(a)所示的机械特性较软,往往无法在生产上应用。为了提高特性硬度,扩大调速范围,一般在电磁调速感应电动机里装有交流永磁式测速发电机,由测速发电机和控制装置组成的转速负反馈闭环系统,保证机械特性的硬度,维持机组稳定运行。图2(b)为带有速度负反馈的电磁转差离合器的机械特性,可见轻载时有失控区。

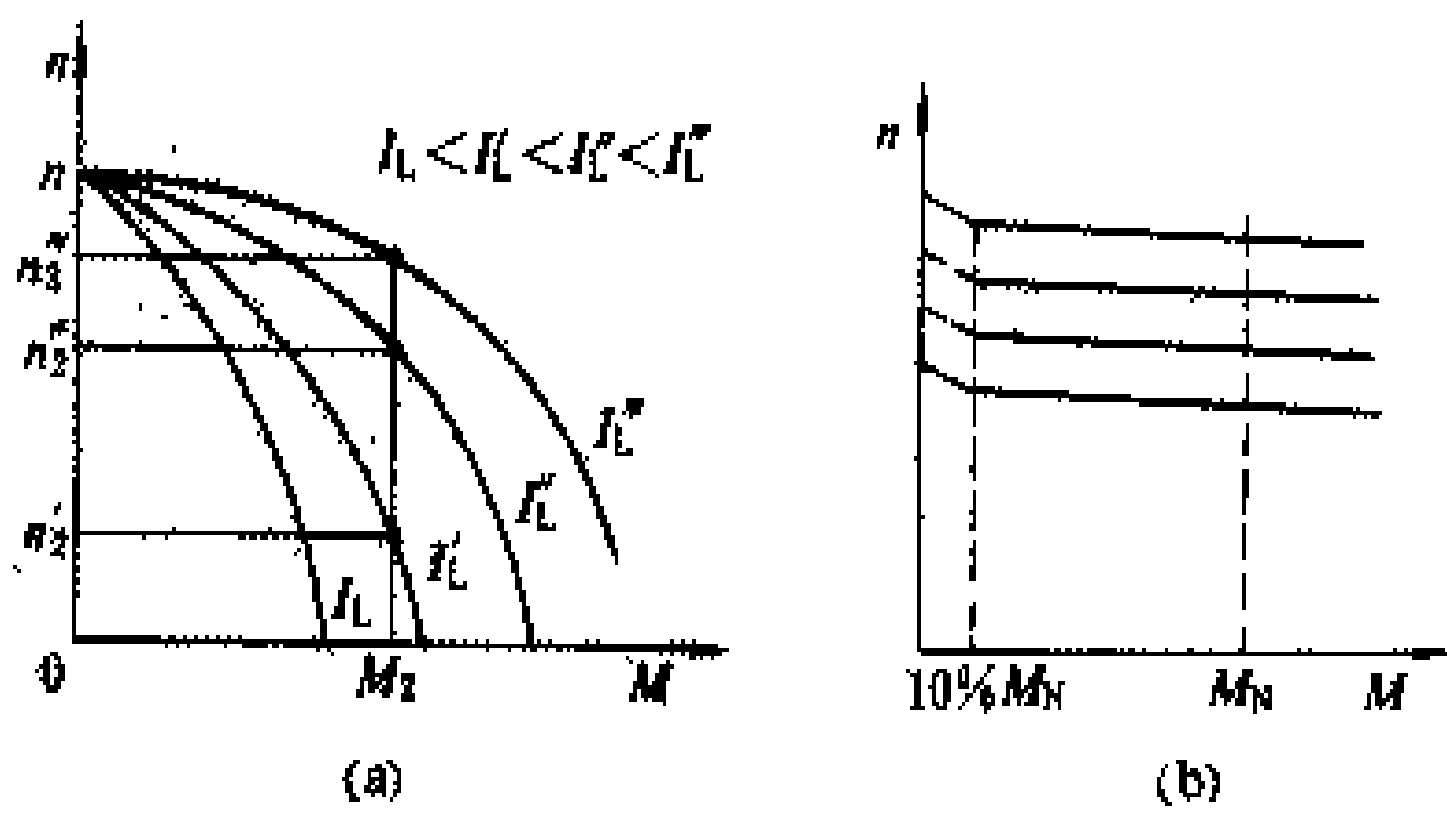


图2 电磁转差离合器的机械特性

- (a) 不同励磁电流时的机械特性;
- (b) 带有速度负反馈的机械特性

电磁转差离合器结构简单,操作方便,控制功率小,所以被广泛地应用于船舶、纺织、起重、机床、冶金等生产机械及风机、水泵上。但因电枢上的涡流损耗大,故效率低,尤其在低速时更为严重,所以不宜在低



速下长期运行。

参考书目

许实章主编, 电机学, 下册, 北京: 机械工业出版社, 1981

(叶 东)

diandong chezu

电动车组 (motor train unit) 用两辆或两辆以上电力动车组成的列车,或由电力动车和拖车(也称附挂车)组成的列车。电力动车以牵引电动机驱动车辆转向架的动轴,由接触网或第三轨供电。电动车组按电流制分为直流和交流电动车组两种。附挂车根据动力配置分为有动力的(转向架上装有牵引电动机)、无动力的以及无动力而一端有司机室的三种。一般一列电动车组是由一辆电力动车与一辆或两辆拖车组成一个单元,再由几个单元组成一列电动车组。司机可在电动车组的尾端拖车司机室操纵首端的动车,也可在首端动车上同时操纵联挂的各单元的动车。

简史 电动车组是随着电气化铁路的发展,在电力机车出现之后产生的。在20世纪初,英国的市郊电气化铁路采用两端各有一辆440kW的电力动车和中间为两辆拖车组成的直流动车组。在30年代前后,柴油动车(由车上柴油机组作供电电源)发展很快,在欧洲、美洲及日本等国曾经大量采用,后来发展到大洋洲、亚洲、非洲及中东地区。在此期间,动车的车体结构、动力传动系统、走行转向架结构以及运行性能和舒适度(减少振动和噪声)等方面均有较大改进。当时的柴油动车组最大速度运行达到140 km/h,柴油机功率为800 kW。50年代,电动车组最大运行速度为160~180 km/h。1964年10月,日本东海道新干线建成后,创造电动车组最大运行速度达210 km/h。1985年,日本东北新干线上电动车组运行速度提高到240 km/h和260 km/h,而且正向着300 km/h的运行速度发展。法国的TGV高速电动车组,已达270 km/h的运行速度。该动车组由两端各一辆动车,中间有8辆拖车组成,全部动车组功率为6300 kW。1986年9月,法国的TGV-A动车组在法国东南线的新线上曾创最高运行速度350 km/h。1990年5月,法国的TGV-A创造了515.3 km/h的最高试验速度,震惊世界。新建的大西洋线,将在法国、英国、比利时三国首都之间开展联运,至少以300 km/h的速度运行,最高运行速度预计为350 km/h。联邦德国联邦铁路新建的高速线采用的ICE电动车组,以250~300 km/h的速度运行。ICE动车利用三相异步牵引电动机驱动,每一台动车轴重为19.5 t,总重78 t,持续功率4800 kW,按280 km/h最大速度设计,在12辆拖车编组条件下,两辆动车

在12.5%坡道上可以保持250 km/h的速度运行。此外,英国、意大利、苏联等国都在建立高速线路并研制高速的机车车辆。

中国DK型电动车组用于北京和天津的地下铁道,自1970年,北京地铁投入运行以来,采用DK2、DK3型凸轮变阻调速的直流通车,由第三轨供电,直流电压为750 V,于1976年前后将凸轮变阻控制改造为斩波调阻控制,可连续平滑地调速,改善了起动和制动性能,后来又在此基础上研制出一列DK6型斩波调压动车,其功率为1200 kW。

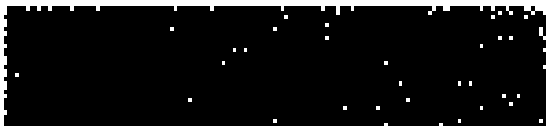
特点 电动车组的速度提高,相应需要采取一系列技术措施,减轻车体、转向架重量,减少轴重,采用调压调频的交流传动技术,改善受流及空气动力学条件,降低噪声及振动,改进轨道线路结构和检测系统,完善信号保护系统及稳定可靠的制动装置系统,利用微机控制及故障检测装置等,保证列车的高速稳定、安全运行。

中国DK6型斩波调压动车的主要优点是节能,取消了起动、制动电阻的能耗,并可实现再生制动。DK6型电动车组比调阻控制在牵引和再生方面节能达24%(牵引节能11%,再生节能13%)。此电动车组的主要参数为:直流电压750 V,第三轨供电,牵引电动机功率为96 kW,一列动车组总功率为 $96 \times 4 \times 4 = 1536$ kW(四辆联挂,每辆4动轴),斩波频率为260 Hz,定频调宽控制,利用电流平均值。

快速客运采用电动车组有很多优点:

- (1) 电动车组有足够数量动轴,采用动力分散方式,具有很大牵引力和较高的加、减速度。
- (2) 编组灵活,适应客流变化,可充分利用车辆,适于近郊通勤和城市间大客运量的运输。
- (3) 粘着重量利用好,轴重较轻,有利于高速运行。
- (4) 一列电动车组首尾有司机室,折返不需转向,减少调车作业量。
- (5) 可按所需最高速度和轴重限制确定最佳动力装置。

编组 可有多种编组方式,如:两辆动车作为一单元,每单元有一个受电弓和司机室,一列动车组由两个或数个单元组成;两辆动车作为一单元,每单元有一个受电弓,动车组两端单元有司机室,一列动车组可有多中间单元;两辆动车为一单元,每单元有一个受电弓,一列动车用多个单元组成,而首尾两端采用有司机室的附挂车;一辆动车一辆附挂车作为一单元,由数个单元组成一列动车组,首尾两端动车带有司机室和受电弓等等。一般电动车的编组根据不同区段的运营要求和客流变化情况,可采用固定编组或灵活编组。有的



采用 4 辆动车 4 辆附挂车或 3 辆动车 3 辆附挂车为一列,或多个单元组成一列。拖车一般不带动力也有带动力的。

发展趋势 电动车组适用于铁路高速客运。电动车组的运营速度已超过 200 km/h,正向着 300 km/h 时速发展。动力配置方式有动力分散式(日本新干线动车)及动力集中式(法国的 TGV 动车)两种方式。它们各具一定特点,分散式由于轴重较轻,便于发挥牵引力和提高运行速度,但不利于维修,而动力集中式,一般列车重量轻,成本低,维修简单,但有轴重限制及横向力等问题。近年来,在变流装置中由于采用大功率电子器件、晶闸管、可关断晶闸管 GTO 元件变流技术的成功和运用,以调压调频(VVVF)变流控制的交流传动系统,将有可能取代传统的直流电动机,在日本的新干线及直流传动动车上已开始应用,并逐步推广交流传动技术,这将促进交流传动系统在电力铁道及地铁牵引技术上发展。

(高福崑)

diandongfadianjizu zhiliu tiaosu

电动发电机组直流调速 (speed control of DC motor by auxiliary motor - generator set)

用电动发电机组,发出电压可调的直流电,实现直流电动机调速的技术,又称电动机-发电机组直流调速、直流发电机-电动机组调速。在半导体直流调速出现以前,电动发电机组直流调速属于高性能电气调速的主要方式。

在使用电气调速的早期,人们大多使用直流电动机调磁调速,其调速比一般为 2~4 倍,且仅适用于恒功率负载。到 19 世纪末,人们开始使用电动发电机组直流调速。最初,使用直流电动机拖动直流发电机,随着公用供电系统采用交流供电代替直流供电,电动发电机组中的直流发电机也随之而改用恒速(或近似恒速)交流电动机拖动。电动发电机组直流调速系统如图 1 所示,直流发电机 G 的输出端与直流电动机 M 的电

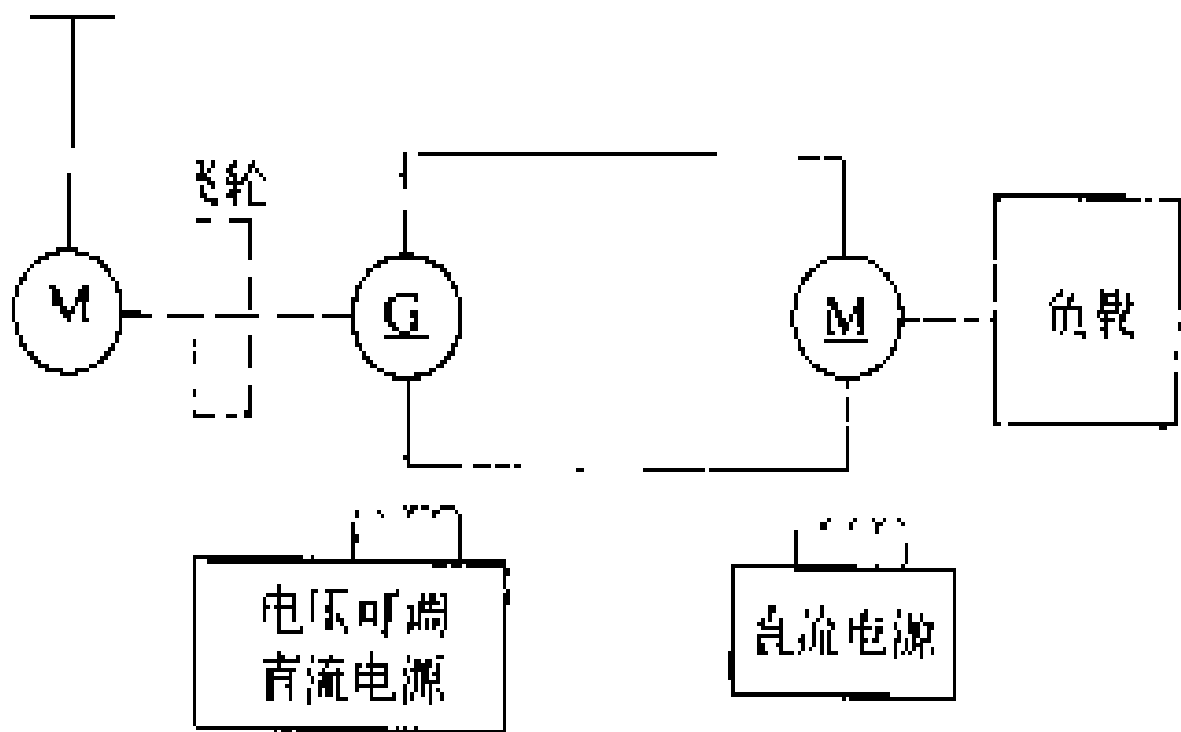


图 1 电动发电机组直流调速示意图

枢相连接。调节直流发电机 G 的励磁电流也相应地调节了直流电动机的端电压,从而实现了调速,其调速比

可达 5~10 倍。这类由旋转变流机组供电的直流电动机变速传动又称沃德-列奥纳德传动(Ward-Leonard drive)。

与直流电动机调磁调速相比,使用电动发电机组直流调速,可得到更宽的调速比,如发电机励磁电流可以反向,则能够平稳地实现直流电动机的四象限运行(见图 2)。在配以电机放大机、磁放大器、电子放大器以及半导体放大器等情况下,其控制功率可以很小,而调速性能则明显提高,因此在 20 世纪 60 年代以前,一直被广泛应用于有高速要求的场合。

由于在电动发电机组的旋转部件中贮存有动能,因此可以使供电电源与机械负载之间在突加负载的动态过程中,得以缓冲。为了强化这种效应,有的电动发电机组在转轴上加装飞轮,这种带飞轮的、以异步电动机驱动的直流发电机组称为依尔格纳发电机组(Ligner generator set)。加飞轮以后的电动发电机组有助于减少驱动电动机峰值功率输入,并解决由较弱的电源系统供电的问题,以承受较大的瞬时负载冲击。同时,电动发电机组旋转部分中贮存的动能可以保护敏感负载免受电网瞬时扰动的影响,且可以延长切换到备用电源的时间间隔。

使用电动发电机组直流调速,对供电电网不造成谐波污染,但在电动发电机组起动时,供电电网可能会承受交流拖动电动机起动电流的冲击。

电动发电机组直流调速装置总安装容量要比由其供电的直流调速电动机的容量大 2 倍以上,与现代半导体调速技术相比,这种调速方式对安装基础的要求高、占地面积大、噪声大、效率低、调速性能又相对逊色,因而除在少数有特殊要求的场合外,已逐步被替代。

参考书目

顾绳谷,电机及拖动基础.北京:机械工业出版社,1981

(黄继鹤)

diandongji

电动机 (motor)

发展简史	70
分类	72
按功率大小分类	72



按用途分类	72
按电源类别分类	72
按机壳防护结构型式分类	72
按通风冷却方式分类	72
按结构及安装型式分类	72
按转速变化分类	73
按电压高低分类	73
按工作制类型分类	73
基本工作原理	73
基本结构	74
关键技术	74
电动机起动	74
电动机调速	75
电动机制动	75
电动机保护	75
电动机的选择	75
电动机类型的选择	75
额定功率的选择	75
电动机效率的选择	75
电动机转矩-转速特性的选择	75
外部结构型式和防护等级的选择	75
电动机电源的选择	75
电动机额定转速的选择	75
发展趋势	76

电动机是将电能转换为机械能的电机。它能带动机械作旋转、角位移或直线运行。

现代化生产中，多数生产机械都采用电动机作为原动机。电动机的种类和规格多，功率范围大，使用和控制非常方便，具有自起动、调速和制动等能力，能满足各种运行要求，工作效率也比较高。由于它有一系列优点，所以在工农业生产、交通运输以及人们的日常生活中得到了广泛的应用。用电设备中，约有 70% 为电动机。

随着电子技术和计算机技术的发展以及现代控制理论的应用，控制电机广泛地应用于运动控制系统(对位置、速度、加速度、力或力矩进行精确控制的系统)和解算系统，并在运动控制系统中作执行元件、检测元件、反馈元件、变换元件，在解算系统中作解算元件。控制电机过去称控制微电机，但随着控制系统的功率和使用范围的扩大，不论是军用控制系统还是民用控制系统中使用的电机，从功率、重量、体积方面都早已超出“微”的范围。

发展简史 1820 年丹麦 H.C. 奥斯特 (Hans Christian Oersted) 发现电流的磁效应。法国 A.M. 安培 (Andr  -Marie Ampère) 高度评价这一发现，认为它揭示了磁性来源于电流。安培由此提出分子电流假说，用以说明磁的本质。安培认为所有电磁作用都是电流与电流的作用，并称这种作用力为电动力。1821

年英国 M. 法拉第 (Michael Faraday) 演示了通电流的导线环绕磁铁旋转的现象，这种电磁旋转装置可以认为是直流电动机的雏型。1823 年英国 P. 巴洛改进了法拉第的试验，发明了通电以后会连续旋转的金属轮子。1821~1825 年间，安培推导了电动力公式，得出安培环路定律，奠定了电动力学的基础。1823~1825 年，英国 P. 巴洛、W. 斯特金和美国 J. 亨利 (Joseph Henry) 分别制作了电磁铁，证实了电磁作用可以产生吸引力。1831 年法拉第在总结试验的基础上，提出了著名的法拉第电磁感应定律。这一定律将磁的现象与电的现象联系起来，不仅有着重要的理论意义——奠定了机电能量转换的理论基础，而且提供了广阔的实用前景。同年，美国亨利制成了第一台由电池供电的直流电动机。1834 年，美国 T. 达文波特 (Thomas Davenport) 在亨利的支持下制成一台直流电动机，并于次年用它驱动一辆小车。1838 年，俄国 Б. С. 雅科比 (Борис Семёнович Якоби, Moritz Hermann von Jacobi) 设计并制造了一台直流电动机，用它驱动一条小船在彼得堡的涅瓦河上航行了一段，初步显示了电动机的实用性。同年，俄国 Э. Х. 楞次 (Эмилий Христианович Ленц) 最早提出一台电机既可作为发电机又可作为电动机运转的可逆性原理。1859 年意大利 A. 帕奇诺蒂 (Antoni Pacinoti) 发明环形电枢，并制成电动机，构成了现代电动机原型。1873 年比利时 Z. T. 格拉姆 (Z  nobe Theophile Gramme) 和法国 E. 方丹制作两台电机，在维也纳国际博览会上用蒸汽机驱动其中一台大的电机发电，向 1 km 外的另一台电机供电，成功地驱动了水泵。这引起了人们对电动机广泛应用前景的注意，成为最早具有商品价值的直流电动机。最初的直流电动机是由电池供电，以后由直流发电机供电，这就导致了公用供电系统的出现。1874 年俄国 Ф. А. 皮罗茨基 (Федор Аполлович Пироцкий) 进行了 3.6 km 的直流输电试验，发现电压降落和电能损耗太大，低压直流电输送距离不长，最多只有几公里，不能满足工业需要，难以推广应用。1880 年和 1881 年，俄国 Л. А. 拉契诺夫和法国 M. 德普勒 (Marcel Deprez) 分别提出用高压直流输电以减少损耗。1882 年德普勒建立了世界上第一条远距离直流输电线路，长 57 km、电压 1.5~2 kV。但试验表明，当时产生高压直流电有困难，而且用户使用过高的电压也很不方便，于是从 19 世纪 80 年代人们转而研究发展交流电，这就促进了交流电技术的发展。1881 年美籍南斯拉夫人 N. 特斯拉 (Nikola Tesla) 发现旋转磁场原理，并于 1883 年制成两相感应电动机。1885 年意大利 G. 费拉里斯 (Galileo Ferraris) 提出交流电机的旋转磁场理论，这是交流电机理论的重要发展。他还制造了一台 3



W 的两相交流电动机。与此同时,特斯拉也提出了依靠旋转磁场工作的感应电动机,并于 1886 年制成了感应电动机。1888 年俄国 M. O. 多利沃-多布罗沃利斯基(Михаил Осипович Доливо-Добровольский)提出三相制并于 1889 年制成了实用的三相笼型感应电动机。这种电动机结构简单、坚固、成本低,很快就成为使用广泛的电动机,促进了交流电在动力上的应用。同年他又发明了同步电动机。1890 年美国西屋电气公司利用特斯拉的专利制成了第一台能自起动的同步电动机。同年特斯拉提出了单相电动机的分相起动法。美国 E. 汤姆逊(Elihu Thomson)又提出了罩极电动机。1891 年 8 月 25 日,世界上第一条三相交流远距离输电线路由法国劳芬至德国法兰克福投入运行。该线路总长 175 km,输电电压为 15.2 kV,输送功率为 200 kW。三相感应电动机和三相制的出现,奠定了交流电动机在工业上应用的基础。1893 年美国西屋电气公司开始成批生产异步电动机产品供工业应用。从 19 世纪末到 20 世纪初,各种电动机的型式均已基本具备。20 世纪初以来,电动机在品种、规格、容量、产量各方面都有了很大的发展。20 世纪 80 年代,美国又开发了以微机为基础的新型控制器,在电压波动、负荷变动时能使电动机获得最高效率,单相电动机可节能 20%~25%,三相电动机可节能 5%~10%,故称为节能的“时髦电动机”(智能电动机)。现代电动机产品种类繁多,应用极广,各种类型的电动机总功率占全部用电设备总功率的 70%左右。

中国在 1949 年以前,电机制造业极端落后,工厂设备陈旧,技术水平不高,产量很低。从 20 世纪初到 1949 年经历了 40 多年的艰辛创业道路,为以后的发展打下了一个薄弱的基础。中国最早的电机、电器修理工场是钱镛记电器铺,创办于 1914 年;最早的制造厂是华生电器制造厂,创办于 1916 年;最早的官办电机厂是国民政府建设委员会电机制造厂,创建于 1927 年。这些生产厂都设在上海。1932 年华成电器制造厂也在上海成立,专门生产小型异步电动机。1924 年上海益中机器厂参考美国西屋电气公司技术资料设计试制成功中国最早的 5 马力(3.68 kW)、4 极笼型感应电动机。但当时由于制造成本高于市场价格而未能发展成商品。1932 年华成电器制造厂开始生产 10 马力(7.35 kW)以下的小型异步电动机。1933 年建设委员会电机制造厂生产供应“建电 TC”0.5~10 马力(0.368~7.35 kW)笼型感应电动机。1937~1945 年间,内迁工厂生产了 100 kW 以下的笼型和绕线转子感应电动机,中央电工器材厂桂林四厂研制成中国第一台换向器电动机。1948 年华成电器制造厂开始试制生产起重电动机系列,同时,一般用途异步电动机也成

系列生产。中国在 1938~1948 年间累计生产电动机的总容量为 126738.98 kW。1949 年以前,年产量最高的 1947 年生产交流电动机的总容量为 51293 kW,生产的最大电动机为 1945 年上海公用电机厂的 300 马力(220.5 kW)、3.3 kV、4 极防滴式绕线转子异步电动机。

1949 年以后,中国的电机制造业经历了从修配到制造,从仿制到自行开发的发展过程。首先参照美国西屋电气公司的技术资料,设计、试制、生产了中小型异步电动机系列(包括起重冶金电机系列)。其后,中小型电动机主要产品经历了三次全国统一设计。

1952 年 12 月至 1953 年 7 月在哈尔滨组织进行了第一次全国电机统一设计。设计采用了苏联电机基本标准 ГОСТ183-41 以及其他有关标准,设计参数和计算程序采用经过消化和生产实践验证的西屋电气公司技术资料。第一次全国统一设计使中国中小型电动机产品达到了世界上 40 年代的水平。

1958 年开始进行第二次全国电机统一设计。参照苏联 A₂、AO₂ 系列小型异步电动机的技术设计资料进行 J₂、JO₂ 系列统一设计;参照苏联 П 系列小型直流电机设计资料进行 Z₂ 系列统一设计;参照苏联 A、AK 系列中型异步电动机资料进行 100~1000 kW 新系列设计。1960 年, J₂ 和 JO₂ 系列电动机通过鉴定,但由于当时选用的 E 级绝缘材料不落实,部分规格温升未过关,没有全面推广。1962 年开始进行 J₂、JO₂ 系列电动机调整设计,实际效率提高了 1%~2%,重量减轻 28%,体积缩小 31%,用铜量节约 29.3%,用铁量节约 23%,定子绝缘提高到 E 级,达到 50 年代国际先进水平。同年, Z₂ 系列电动机也开始进行调整设计工作, Z₂ 系列与 Z 系列相比,用铜量平均节约 39%,用铁量节约 17.4%,重量减轻 21%,转动惯量降低 49.4%,也达到 50 年代国际先进水平。

第三次全国电机统一设计开始于 1979 年 4 月。1982 年 4 月通过小批试制鉴定定型,全面推广。Y 系列(IP44)电动机与 JO₂ 系列电动机相比,硅钢片节约 9%,但用铜量增加 4.6%,体积缩小 15%,重量减轻 12%,产品加权平均效率提高 0.41%,起动转矩提高,且保证了较好的振动和噪声水平。Y 系列(IP44)电动机采用了国际电工委员会通用标准(IEC)规定的功率等级和安装尺寸,同时符合联邦德国 DIN 标准规定的功率等级与安装尺寸的关系,其主要性能达到了世界上同类产品的先进水平。1985 年, Y 系列(IP23)、YR 系列以及 YB 系列隔爆型电动机、电制动电动机、深井泵用电动机、户外及防腐蚀电动机、调磁调速电动机等均通过鉴定。直流电动机方面,1982 年引进了联邦德国 AEG 公司 4 个系列小型直流电动机的设计制造技术。

中国中小型电动机经过三次换代更新,产品自给率已达90%。到1985年,中型异步电动机有68个系列、410个品种、2800个规格;小型异步电动机有12个系列、51个品种、128个规格。1993年5月又开始了Y₂系列电动机的全国统一设计。

技术引进和技术改造增强了中国电机制造业自行设计和制造的能力。从1949~1988年累计生产交、直流电动机63万MW,其中大、中型电动机11400MW。1988年生产驱动用交流电动机38773.4MW,驱动用直流电动机1132.7MW。中国生产的各种交、直流电动机已能满足国内大型轧钢设备、高炉设备、电站设备、采矿勘探设备以及化工、水泥、造纸、机床等各方面对不同类型电动机的需要。中、小型电动机及微电机已出口到美国、东南亚一带,1987年创汇近3000万美元。

分类 电动机可以按功率大小、用途、电源类别、机壳防护结构型式、通风冷却方式、结构及安装型式、转速变化、电压高低和工作制类型等分类。

按功率大小分类 分为大型、中小型和小功率电动机。因额定转速和铁芯长度的差别,同一直径的电动机容量将在一个很宽的范围内变化,因此,就容量而言,大型电动机不可能有一个明确的界限。

(1) 大型电动机。在中国,大型电动机一般是指定子铁芯外径大于1000mm或电动机轴的中心线高在630mm以上的交流电动机和转子铁芯外径大于1000mm的直流电动机;由于历史的原因,把转子铁芯外径大于423mm,或电动机轴的中心线高在355mm以上的中型直流电动机也划入了大型电动机的范围。

(2) 中小型电动机。在中国,中小型电动机一般是指电动机轴的中心线高为80~630mm的交流电动机和中心线高为80~355mm的直流电动机。

(3) 小功率电动机。又称分马力电动机(还称为驱动微电机,以区别于控制微电机),在世界范围内,愈来愈普遍采用小功率电动机这一名称。按国际电工委员会(IEC)的定义,小功率电动机指折算至50Hz、1500r/min的连续额定功率不大于1.1kW的电动机。

按用途分类 分为一般用途、规定用途和特殊用途三类电动机。

(1) 一般用途电动机。按标准设计的,运行特性和机械结构适用于一般运行条件,而限于某一特定用途或某一类型用途的电动机。

(2) 规定用途电动机。按标准设计的运行特性或机械结构或者两方面均适用于某一特定用途或某一类型用途的电动机。

(3) 特殊用途电动机。为某一特殊用途设计的具有特殊运行特性或特殊机械结构或两者兼备的电动机。

按电源类别分类 分为直流、交流和交直流两用三类电动机。

(1) 直流电动机。依靠直流电源运行的电动机。按励磁方式可分为他励、并励、串励和复励4种。如用永磁体励磁,则称为永磁直流电动机。

(2) 交流电动机。依靠交流电源运行的电动机。主要有同步电动机、感应电动机和交流换向器电动机三大类,每类又有单相和多相之分。

(3) 交直流两用电动机。既可用直流电源供电,也可用单相工频交流电源供电的电动机,又称普通电动机。

按机壳防护结构型式分类 分为开启式、封闭式、密封式、充压式、气密式和罐封式电动机。

(1) 开启式电动机。一种具有通风孔,直接从周围介质吸入冷却介质进行冷却,然后直接排放到周围介质的电动机。

(2) 封闭式电动机。一种在冷却过程中周围介质不进入机壳的电动机。

(3) 密封式电动机。具有专门密封措施的电动机。在正常运行时,可使电动机内部冷却介质的外泄量或周围介质的渗入量极少。

(4) 充压式电动机。内部冷却介质压力高于周围介质压力的电动机。

(5) 气密式电动机。在规定条件下特定的蒸气或气体进入机壳内并不影响正常运行的电动机。

(6) 罐封式电动机。采用金属密封层完全密封电动机的指定部分以防止液体进入的电动机。

按通风冷却方式分类 分为自冷式、自扇冷式、他扇冷式和管道通风式电动机。

(1) 自冷式电动机。多为1kW以下的小功率电动机。电动机产生热量不多,不安装风扇,仅依靠空气的自然流动使机壳表面获得冷却。

(2) 自扇冷式电动机。由安装在电动机转轴上的风扇供给冷却空气,以冷却电动机表面或内部。

(3) 他扇冷式电动机。供给电动机冷却空气的风扇不是由电动机驱动,而是独立驱动。

(4) 管道通风式电动机。冷却空气不是由电动机外部直接进入或由电动机直接排出,而是通过管道引入或排出电动机。管道与电动机进出风口的连接可以是仅与进风口或出风口或者进出风口连接。管道通风式电动机可以是自扇冷式或他扇冷式。

按结构及安装型式分类 主要有卧式安装电动机和立式安装电动机两类。每类又有用底脚、用凸缘以及



用底脚和凸缘安装的电动机之分。结构及安装型式代号可参阅中国国家标准 GB997—81《电机结构及安装型式代号》。

按转速变化分类 分为恒速、变速、多速和调速四类电动机。

(1) 恒速电动机。在正常负载范围内，转速保持恒定或基本恒定的电动机，如同步电动机、小转差率的感应电动机。

(2) 变速电动机。在正常负载范围内，转速有明显变化的电动机。通常随负载增加转速下降，如推斥电动机。

(3) 多速电动机。在指定负载下可按两级或多级规定转速中任一级转速运行的电动机。又分：①多级恒速电动机，指在正常负载范围内，按各级转速运行时，转速保持恒定或基本恒定的电动机，如变极感应电动机；②多级变速电动机，指在正常负载范围内，按各级

转速运行时，转速有明显变化的电动机，如多速双值电容分相感应电动机。

(4) 调速电动机。在指定负载下，转速可以在规定范围内逐步变化的电动机。又可分为：①可调恒速电动机，指对应于任一调节好的转速都具有恒速电动机的特性，如用磁场变阻器在一定范围内调速的并励直流电动机；②可调变速电动机，指对应于任一调节好的转速都具有变速电动机的特性，如用变阻器调速的绕线转子感应电动机。

按电压高低分类 分为高压和低压电动机。电压在 3 kV 及以上的为高压电动机，在 3 kV 以下的为低压电动机。

按工作制类型分类 有连续、短时、周期和非周期工作制等 9 类电动机。按中国国家标准 GB755—87《旋转电机基本技术要求》，工作制类型分为 9 类，即 S1~S9，见表 1。

表 1 电机工作制类型

工作制类型	代号	选 用 原 则
连续工作制	S1	在额定负载下连续运行时间足以达到热稳定
短时工作制	S2	在恒定负载下，按给定的时间运行，该时间不足以达到热稳定，即停转足够时间，使电机再度冷却到与冷却介质温度之差在 2K 之内
断续周期工作制	S3	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段恒定负载运行时间和一段断能停转时间。这种工作制中每一周期的起动电流不致对温升产生显著影响
包括起动的断续周期工作制	S4	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段对温升有显著影响的起动时间、一段恒定负载运行时间和一段断能停转时间
包括电制动的断续周期工作制	S5	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段起动时间、一段恒定负载运行时间、一段快速电制动时间和一段断能停转时间
连续周期工作制	S6	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段恒定负载运行时间和一段空载运行时间，但无断能停转时间
包括电制动的连续周期工作制	S7	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段起动时间、一段恒定负载运行时间和一段电制动时间，但无断能停转时间
包括变速变负载的连续周期工作制	S8	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段在预定转速下恒定负载运行时间和一段（或几段）在不同转速下的其他恒定负载的运行时间（例如变极多速异步电动机），但无断能停转时间
负载和转速非周期变化工作制	S9	负载和转速在允许的范围内变化的非周期工作制，这种工作制包括经常过载，其值可远远超过满载

基本工作原理 载流导体在磁场中受到的电磁力 F ，其大小为

$$F = Bli$$

式中 B 为磁通密度，T 或 Wb/m^2 ； l 为导体长度，m； i 为电流，A； F 为电磁力，N。电磁力、磁感应强度和电流三者的方向互相垂直，用左手定则确定，如图 1 所示。当磁感应强度或电流的方向改变时，电磁力 F 的方向也随之改变，但若两者同时反向，则电磁力的方向

保持不变。在直线电动机中，该电磁力拉着可动部分做直线运动；在旋转电动机中，该电磁力和转子半径的乘积形成电磁转矩，使电动机旋转。电动机旋转后，导体和磁场有了相对运动，导体切割磁场，在导体中产生感应电动势 e ，其大小为

$$e = Blv$$

式中 v 为导体与 B 之间的相对线速度，m/s； e 为感应电动势，V。感应电动势、磁场和导体运动方向三者之

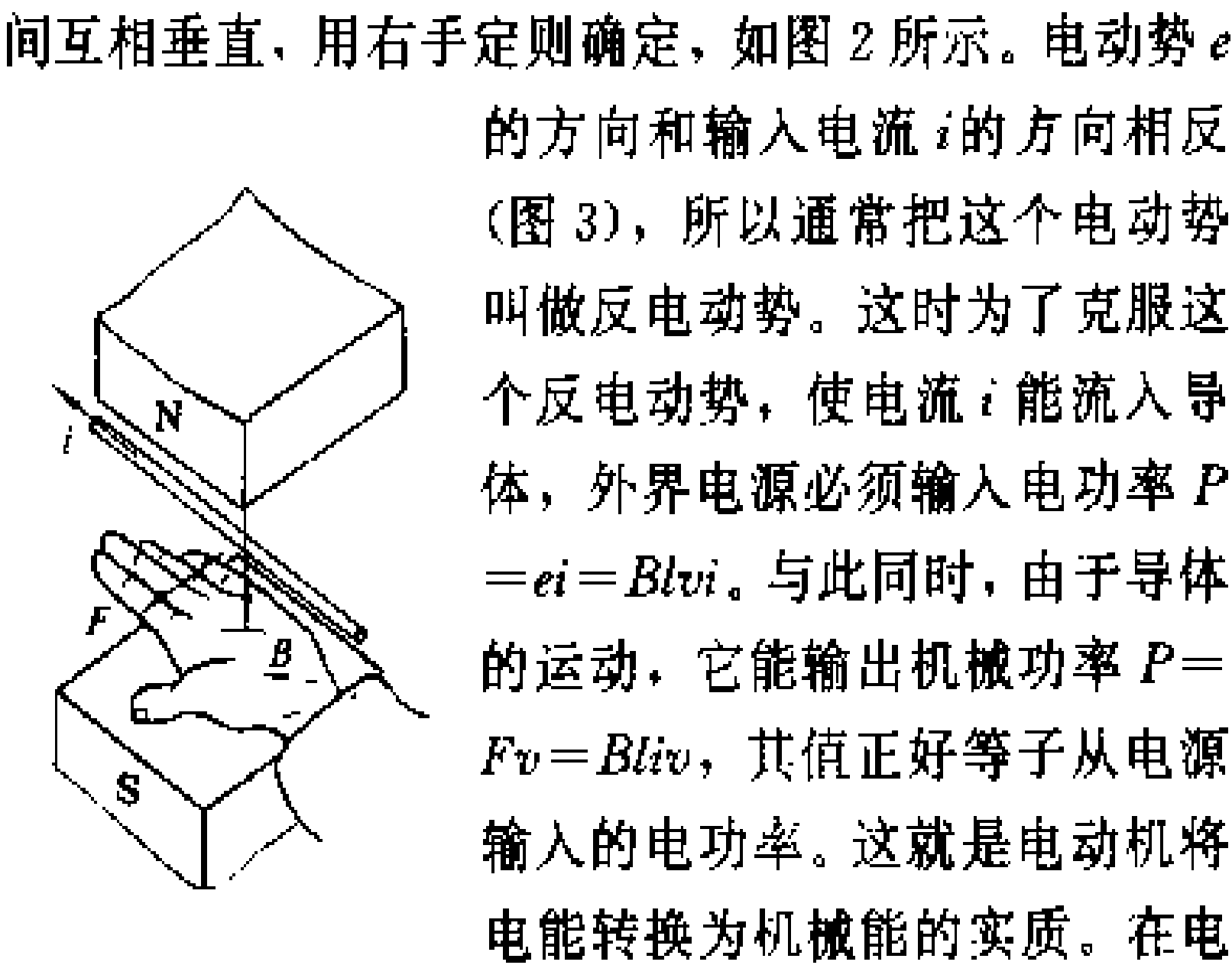


图 1 左手定则 电动机中,由于存在各种损耗,所以电功率 $P=ei$ 指的是电性质的电磁功率,比电源输入的实际电功率小;机械功率 $P=Fv$ 指的是机械性质的电磁功率,比电动机实际输出的机械功率大。

基本结构 电动机具有相对运动的两个部分,一般是静止和可动两个部分,它们之间必须有一定的间隙,称为气隙。在直线电动机中,静止部分叫初级或静子,可动部分叫次级或动子;在旋转电动机中,静止部分叫定子,可动部分叫转子。为了实现机电能量的转换,电动机中需要有一个磁场和一些通电流的线圈。这些线圈按一定规律连接起来形成绕组。电动机的绕组有两类:一类是专门用来通电产生磁场的绕组,称为励磁绕组,

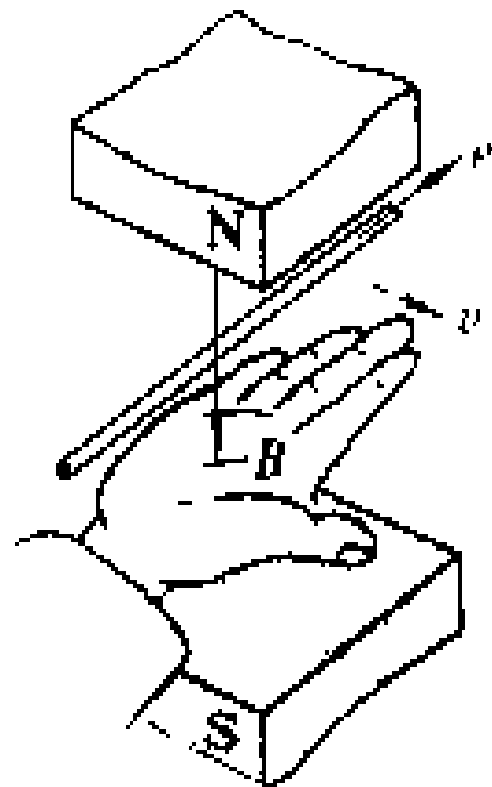


图 2 右手定则

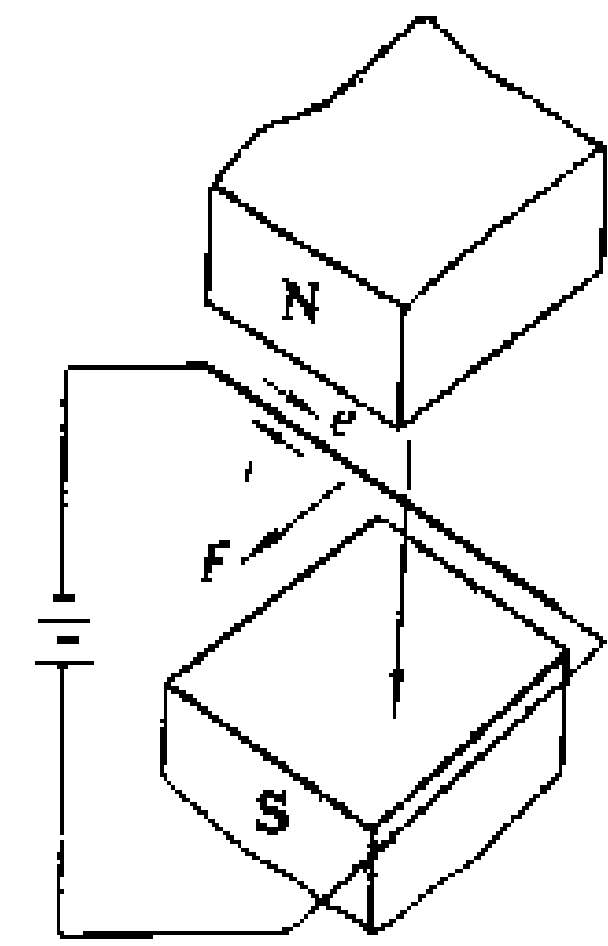


图 3 电动机的机电能量转换 电动机中放置励磁绕组的部件称为主极,放置电枢绕组的部件称为电枢。一般把励磁绕组套在主极极身外面,电枢绕组嵌在电枢铁芯槽内。电枢绕组通过电流时也产生磁场,称为电枢反应磁场,它对电动机气隙磁场的影响称为电枢反应。通常直流电动机的励磁绕组放在定子上,同步电动机的励磁绕组连同集电环放在转子上,从外部电源向励磁绕组通入直流电流,形成沿气隙圆周 N、S 交替排列的主极。直流电动机的电枢绕组放在转子上,从外部直流电源经电刷和换向器通入电流。同步电动机和感应电动机的电枢绕组放在定子上,从外部电源通入交流电流产生旋转磁场。感应电

动机没有专门的励磁绕组。电动机中的旋转磁场是由放在定子上的电枢绕组中的交流电流产生的,放在转子上的绕组与外部电源不连接,自己形成短路绕组,由于该绕组与旋转磁场有相对运动而产生感应电动势,从而在短路绕组中产生电流。综上所述,电动机在运行时,各绕组中都有电流流过,这些载流绕组所起的作用有以下共同点:

- (1)载流绕组都在产生电动机的磁场中起作用,即磁场是由载流的各绕组共同建立的。
- (2)在直流电动机和感应电动机中,转子上的载流绕组在磁场中受电磁转矩作用;在同步电动机中,定、转子上的载流绕组产生的磁场相互作用产生电磁转矩。这个电磁转矩驱动转子旋转,从而实现将电能向机械能的转换。

为了在电动机中获得较强的磁场,必须为磁通提供低磁阻的磁路,所以电动机的定子和转子磁路都采用导磁性能良好的铁芯。为了减少铁芯中的磁滞损耗和涡流损耗,电动机的电枢铁芯通常用 0.5 mm 厚的硅钢片叠压制成。

旋转电动机的定、转子除有铁芯和绕组外,还有一些其他构件,如表 2 所示,各种电动机并不都具备这些构件,可以只有其中的一部分。

表 2 旋转电动机的主要结构部件

旋转电动机	定子	机座—支承电枢铁芯或主极的构件
		电枢铁芯或主极
		电枢绕组或励磁绕组、补偿绕组
		端盖
		电刷装置—电刷与换向器或集电环作滑动接触而形成电连接
		换向极—在相邻两主极之间,包括换向极铁芯和换向极绕组,用以改善直流电动机的换向
	气隙	
	转子	电枢铁芯或主极
		电枢绕组或励磁绕组、阻尼绕组
		转轴—装有其他旋转件,由轴承支承而旋转
风扇		
	换向器或集电环	
其他	—如轴承装置、出线盒和铭牌等	

关键技术 为了满足生产机械对电动机的要求,应解决电动机的起动、调速、制动和保护等四个关键技术。

电动机起动 一般提出四个方面的要求:①起动电流不要太大,应为电动机和电源所允许;②起动转矩必须大于电动机本身的空载转矩和起动时负载转矩的总和;③电动机从静止达到稳定运行状态所经历的起动时间要短;④起动设备尽可能简单、可靠、易于操作和维护。(见交流电动机起动)



电动机调速 大量生产机械需要在不同的转速下工作,还有些生产机械需要转速保持稳定,这就要求电动机能够调速。电动机调速性能通常从四个方面来衡量:①静差率,又称调速精度;②调速范围,也叫调速比,与静差率是互相制约的两个指标;③调速平滑性;④调速经济性,包括调速设备投资和运行费用。

在调速性能要求较高的场合,过去多用调速方便的直流电动机调速,但由于直流电动机有换向器,结构复杂,价格昂贵,维护困难,而交流电动机有结构简单,运行可靠,几乎不需维修等优点,因而许多工矿企业都希望采用交流电动机调速。随着电力电子技术和微型计算机控制技术的发展,交流电动机调速技术发展很快,调速性能大有提高,设备价格降低,已得到日趋广泛的应用。

电动机制动 把电力驱动系统的动能或位能转变成电能,并使之消耗或反馈给电源,从而使电动机迅速停转或自高速迅速减至低速,或限制转速的上升。制动时,电机的电磁转矩与转速方向相反,是制动性转矩。常用的制动方法有能耗制动、回馈制动(又叫再生制动)、反接制动和倒拉反转制动等四种。(见直流电动机制动,交流电动机制动)

电动机保护 为了使电动机能够长期安全运行,需要采用一些保护措施,通常有断相保护、过电流保护、过电压保护和过速保护等。(见直流电动机保护,交流电动机保护)

电动机的选择 合理选择电动机是在满足生产机械要求的条件下,使电动机在效率高、损耗低、经济效益最佳的状态下运行。选择电动机时,应考虑电动机的类型、额定功率、效率、转矩-转速特性、外部结构型式和防护等级、电源及额定转速等。

电动机类型的选择 应考虑负载对起动、制动、调速以及对调速精度的要求等。无特殊要求时,应选用笼型感应电动机。在企业配电电压允许的条件下,容量在200~355 kW之间宜选用高压电动机;容量在355 kW以上应选用高压电动机。对于年运行时间大于3000 h,负载率大于50%的场合,宜采用高效率电动机(与基本系列的电动机相比,额定功率时的有功损耗降低20%及以上的电动机)。

额定功率的选择 选择电动机的额定功率时,要考虑电动机的发热和最大转矩,对笼型感应电动机还应考虑起动转矩。在电动机中,耐热最差的是绕组的绝缘材料,不同等级的绝缘材料,其极限温度不同,见表3。如超过极限温度,则加速绝缘老化,使电动机寿命缩短,甚至烧坏。通常考虑温升,即电动机温度与周围环境温度之差。电动机各部位的极限温升在有关国家标准中都有规定。

表3 绝缘材料的极限温度

绝缘等级	A	E	B	F	H	C*
极限温度(℃)	105	120	130	155	180	180以上

* 有的地方用“200”表示,相应的极限温度为200℃。

电动机额定功率的选择步骤是:

(1) 根据机械负载变化规律得出的典型负载图,确定电动机的工作制类型(见表1),再计算出电动机的实际负载功率;

(2) 根据机械负载类型和重要性,乘以适当的储备系数,使电动机的实际负载率(以百分数表示的实际输出功率与其额定功率之比)接近经济负载率(电动机运行效率最高时的负载率);

(3) 当电动机使用地点的海拔高度和介质温度与规定的工作条件不同时,其额定功率应按中国国家标准GB755—87《旋转电机基本技术要求》或制造厂的规定予以修正(控制电机及牵引电机除外)。

电动机效率的选择 应考虑:

(1) 电动机的额定效率随着额定功率、额定转速的增加而增加;

(2) 在电动机的技术条件和产品样本中,通常给出的是额定负载时的效率 η_N 。电动机的效率随负载率的不同而异,不同规格、不同系列的电动机,其效率与负载率的函数关系也不一样。因此,应根据电动机的实际负载率,选用效率较高的电动机。

美国在NEMA标准MG10—1977《选择和使用三相异步电动机能量管理导则》中规定,电动机的效率通常给出的是额定负载、3/4负载和1/2负载下的效率。日本在电动机使用手册中、中国在国家标准GB12497—90《三相异步电动机经济运行》中也都给出上述负载下电动机的效率,供用户选择。

电动机转矩-转速特性选择 应与负载的机械特性匹配,以确保电力驱动系统的运行安全和提高系统电能利用率。

外部结构型式和防护等级的选择 应根据电动机使用环境是否存在腐蚀性,起火、爆炸危险,灰尘和粉尘的多少,温度和湿度的高低,水和油的浸入情况等来选择。

电动机电源的选择 包括电动机的电源类别和电压等级的选择,应按照电动机的额定功率和所在系统的配电电压和配电方式综合考虑确定,还应考虑电动机运行期间电源电压和频率的变化,以及电源电压的波形和对称性等。

电动机额定转速的选择 额定功率相同的电动机,额定转速愈高,电动机的尺寸和重量愈小,成本愈低,效率和功率因数愈高,因此高速电动机较经济。



但由于生产机械对转速有一定要求,电动机的转速愈高,势必加大传动装置的传动比,导致传动装置复杂化和传动效率降低,因此,应在综合考虑电动机和机械两方面的各种因素后,再确定较为合理的电动机额定转速。

发展趋势 以电子计算机控制的电动机扩展了人类的智能,随着电动机应用范围的扩大和需求量的增加,电动机将朝着节约电力,提高可靠性,改善调速、起动和控制性能,降低材料用量,多品种,新用途等方向发展。其特点是:

(1) 符合节电要求。根据不同使用要求,正确选择电动机的类型、容量、电压和极数;应用高效率电动机;采用先进的电动机调速方式和控制设备;加强电动机的运行管理和维修;改进电动机的设计和制造工艺,利用计算机进行电动机最优化设计。

(2) 产品标准化、系列化和通用化。使电动机的功率等级和安装尺寸与国际标准趋于一致。

(3) 推广晶闸管装置,既改善电动机的调速性能,又提高可靠性。

(4) 形成机电一体化。微电子技术、计算机技术、信息控制技术和电动机结合,把以微机为基础的新型电子控制装置和电动机以及工作机构都结合在一起,实现机电一体化,使电动机能方便地受到控制,适应负载的任何变化,使其运行在效率较高或最高,具有更高的灵活性和可靠性的情况下,成为智能电动机。

(5) 为适应新技术的发展对电动机提出的各种新要求,发展专用特殊电动机,例如平面电动机、弧形电动机、球形电动机以及在高温、低温等条件下使用的电动机等。

(6) 采用新材料,将推动电动机的改进和新品种的实现。材料科学的新成果不断提高电动机的制造水平,如以合成高分子化合物为基础的新型电机绝缘材料,减小了电机绝缘厚度,并可提高电机温升。低损耗、高磁导率的冷轧硅钢片使铁损降低到 0.4 W/kg 以下。采用非晶态合金制造的电动机使铁损减少 70%~80%。高磁能积的钕铁硼等稀土永磁材料的发展,使永磁电动机可能成为近期内最重要而有前途的电动机。

超导材料研究的进展将会给电动机带来重大变革。利用超导体可以获得稳态高强磁场面只需消耗极少的电能。绕组由实用超导线(简称超导线,用超导材料制成,在强磁场下能承载高电流密度的导线)绕制成的超导电动机具有功率密度大、重量轻、体积小和效率高等优点,是很有发展前途的电动机。使用超导电动机驱动潜艇和水面船只,还可以消除传动噪声,改善灵活性和隐蔽性。随着高温超导材料研究的进展,为超导电动机的实用化展现了新的前景。

参考书目

艾维超,电机学.北京:机械工业出版社,1991
汤蕴璆,电机学——机电能量转换.北京:机械工业出版社,1981

(金啟政)

diandongji bianpin qidong

电动机变频起动 (variable frequency starting of motor)

利用变频电源对同步电动机进行起动的方法。变频电源系将恒频恒压的交流电直接或经过中间环节变换为频率、电压均可调节的交流电的装置。起动时,连续升高变频电源的频率,使定子旋转磁场转速逐渐升高,而电动机转子上也加上励磁,于是依靠同步电磁转矩将电动机起动起来,转子转速随着定子旋转磁场同步地上升,直到同步转速,然后再把同步电动机投入电网,起动完毕。

这种起动方法能实现大功率同步电动机平滑起动,且没有电流冲击,可起动容量为数万千瓦的同步电动机或大型发电、电动两用的蓄能机组。采用此法必须有变频电源,而且励磁机必须是非同轴的,否则在起动开始,转速很低时,无法建立所需的励磁电压。

(叶 东)

diandongji jiedian jishu

电动机节电技术 (electric motor technology saving electricity)

降低或减少电动机损耗或电动机运行中引起的电能损耗的方法与措施。电动机

表 1 一些国家异步电动机用电量占总发电量的百分数

国家	用电量占总发电量的百分数(%)
美国	64.2
英国	64
联邦德国	50
日本	60~65
民主德国	45
波兰	45~50
加拿大	25

是工农业生产和人民生活用电最多的一种电气设备。一些国家统计表明异步电动机的用电量占总发电量的 50%左右,见表 1。再加上同步电动机和直流电动机的用电量,电动机总用电量超过总发电量的一半。因此,电动机的节能降耗是一个重要的研究课题。电动机的主要节电途径有采用节电风扇,用磁性槽楔改造低效电动机,

电动机无功补偿,电动机的轻载节电技术、调速节电技术和选用高效电动机等。

节电风扇 全封闭型高速异步电动机靠机端外风扇通风来达到散热的目的,通风损耗在总损耗中占相当大的比重,2 极电动机约占 1/3,相当于电动机容量的 3%,4 极电动机占容量 1.5%左右。通风损耗大的

主要原因是电机的外风扇大都采用盆式，系统设计不太合理，效率只有20%~40%。改造风机，提高风扇效率，降低风路风阻是近几年推广的一项节电措施。电机节电风扇采用机翼型轴流式风扇，配以空气动力性能较好的风罩，使风扇效率大为提高，在满足正常冷却的前提下，通风损耗降为原来的1/3以下。JO291—2，55 kW电动机采用节电风扇节电效果见表2。

表2 节电风扇节电效果

项 目	风扇 功耗 (W)	电机噪声级 [dB(A)]		满载温升 (℃)	
		平均 声级	离风 罩 1m	定子 绕组	机座 (吊环孔)
原 风 扇	1720	90.8	94	66.2	20
节电风扇	480	86.9	90	66	20
差 值	少 1240	降 3.9	降 4.0	0	0

磁性槽楔 由于大型电动机定子采用开口槽，气隙磁阻变化较大，使主磁场及谐波磁场产生较大的脉

表3 磁性槽楔节电效果

电机型号	槽楔种类	空载电流 I_0 (A)	铁耗 P_{Fe} (kW)	定子绕组温升 (℃)	起动电流 倍	起动力矩 数倍	功率 因数	效率 (%)
JS137—4 260 kW 6 kV	非磁楔	7.2	10.7	41.8	5.6	1.06	0.91	91
	* 349 磁 性槽楔	6.1	5.45	34.5	5.43	0.91	0.923	92.7
YR800—10 6 kV	非磁楔	49.8	17.5	58	—	—	0.781	93.8
	* 349 磁 性槽楔	43.5	9.3	45	—	—	0.803	95.4
JSQ158—6 550 kW 6 kV	非磁楔	23.2	21.19		5.58	1.69		
	MC1 磁楔	15.6	9.25		5.51	1.63		
JSQ157—6 460 kW 6 kV	非磁楔	17.67	18.38					
	MC2 磁楔	15.58	10.76					

振损耗和表面损耗。对于这类电机采用磁性槽楔或槽泥，可以减少气隙中磁场脉动的幅值，减少损耗，使电动机效率提高1%~2%。但采用磁性槽楔会使定子漏抗增加，使电动机的起动电流、转矩、最大转矩都有所下降，对于起动要求高的电动机，需经技术经济比较后，确定是否采用磁性槽楔。改用磁性槽楔的效果见表3。

轻载节电技术 有些电动机的负载是变动的，运行点常偏离额定工况；有些电动机容量选择偏大，长期运行于轻载

工况。当电动机负载小于额定值1/3，即俗称“大马拉小车”时，电动机的效率和功率因数都很低。电动机轻载节电技术有下列几种：

(1)功率因数控制节电器。将实际运行电动机的功率因数测量值，与预定的基准功率因数相比较，当实际功率因数低于基准功率因数时，节电器动作降低电动机电压，一直到电动机功率因数提高到基准值为止。降低电动机电压，使电动机无功减少，同时，定子电流也减少，使定子铜耗减少，从而达到节电的目的。1980年中国清华大学制成功率因数控制节电器，用于250 W单相电动机，其节电效果见表4。

(2)电感调压节电器。在电动机定子输入端串入一个三相电感器来进行调压，以实现节电。所串电感器有两种型式：一种为可调电感器，利用电感磁路饱和程度的变化来进行电感量的调整，使电动机端电压随负载电流变化；另一种为不可调电感器。可调电感器成本较高，本身耗能较大，生产中应用较少；不可调电感器及带投切控制装置的节电器有节电效果，应用较广。节电效果见表5。

电感调压节电器适用于小型异步电动机。其价格低于功率因数控制节电器，但存在下列缺点：①对变动负载，如机床，易使工件加工精度下降，且节电器动作频繁，电动机处于过渡过程中，无法正常运转；②节电器自身能耗占相当比重，降低了节电效果；③电抗器饱和时，电流波形中会出现谐波。

(3)接电转换器。在正常情况下电动机绕组为三角形接线或有多支

路绕组并接时，适当地改变其接线方式，即可降低电动机的电压，从而节约电能。如电动机绕组由三角形接线

表4 功率因数控制节电器节电效果

运行点	无节电器时额定 电压下输入功率 P_1 (W)	有节电器时额定 电压下输入功率 P_1 (W)	节 电 百分比 (%)	备 注
1	85	43	49	(1)有、无节电器时转速分别为1420、1480 r/min (2)有节电器时 P_1 中包括控制系统损耗
2	198	170	14.5	
3	255	247	3	



表 5 电感调压节电器节电效果

节电器 状态	输出转矩 (N·m)	转速 (r/min)	有功功率 P_1 (W)		无功功率 Q_1 (var)		电流 (A)	节电器消耗		加节电器后节电		节电率 (%)	
			电源	机端	电源	机端		有功(W)	无功(var)	有功(W)	无功(var)	有功	无功
投入 未投	0.1	1470	160	140	588	253	0.91	20	332	65	879	28.9	60
		1491	225	225	1464	1464	2.22						
投入 未投	1.0	1461	330	305	775	301	1.34	25	474	42	715	12	48
		1485	375	375	1490	1490	2.27						
投入 未投	2.0	1446	460	440	927	329	1.66	20	598	28	571	7.1	38
		1480	495	495	1498	1498	2.35						
投入 未投	3.0	1432	650	617.5	1156	377	2.12	33	779	11.4	312	3.7	21
		1476	675	675	1468	1468	2.40						

改为星形接线,相当于绕组电压减到 $1/\sqrt{3}$;多支路绕组的并接改串接,如两个并联支路改成一个串联支路,相当于每个支路电压减半。最常用的接电转换器是三角—星转换器。其优点是结构简单,不消耗功率,对电流波形不产生影响,但这种转换器的电压变动值一定,适用范围受到一定的限制。

电动机无功补偿 异步电动机运行时,要从电网吸收无功功率。电动机功率因数低,表示电动机从电网吸收的无功功率多,不仅影响电动机本身的铜耗,也会引起供电线损增加。因此,对异步电动机进行无功补偿,减少电动机从电网吸收的无功功率是节电的重要措施。无功补偿的方法有电容器组、静止补偿器、同步电动机、调相机、异步电动机同步化以及绕线式异步电动机与自激式相位补偿机串接等。(见用电无功补偿装置)

调速节电技术 电动机调速方法很多(见交流电动机调速),电动机变频、变极、串级调速等属于高效节电调速方法,其他大多属于低效节电调速方法。

高效电动机 高效电动机采用计算机辅助优化设计,选用低损耗硅钢片,改进制造工艺等技术措施,以多用优质材料来换取高效率。美国 GE 公司将一种效率为 89.5% 的异步电动机进行三次优化设计,现已生产制造出效率为 95.2% 的高效电动机。

(1) 高效专用电动机 由于年利用小时数很高的电动机,工况单一,通过优化设计可制造出高效专用电动机,节电效果明显。如纺织厂细纱机用电动机,年运行小时数超过 8000 h,采用高效专用电动机取得很好节电效果。日本纺织厂使用新的 11 kW4 极高效电动机,效率达到 95%。中国北京第三棉纺厂使用 YDFJ250—4/6 双速高效专用电动机,3 年节约的电费即可抵偿电动机的投资。YDFJ250—4/6 型电机与老电机的性能比较见表 6。

(2) 节能永磁电动机 利用钕铁硼永磁材料作为直流电动机的永磁励磁来代替电磁式励磁,减少了励磁绕组铜耗,并使电动机质量减轻,体积缩小,效率提高,具有很好的节能效果,见表 7。

表 6 电机性能比较

类 别	4 极			6 极			总 重	
	ΣP (W)	η (%)	$\cos\varphi$	M_{st} (N·m)	I_n (倍)	M_{max} (倍)	G_{Cu} (N)	G_{Fe} (N)
YDFJ250—4/6 型	1111.7	93.10	0.859	138	5.18	2.71	167	1584
13101 型(旧式电机)	2240	87.0	0.885	133	6.16	—	290	1461
差 值	-1128	+6.1	-0.026	+5	-0.98		-123	+123

表 7 节能永磁电动机节电效果

	型 号	电压 (V)	额定转矩 M_N (N·m)	转速 n (r/min)	输出功率 P_o (W)	励磁电流 I_f (A)	励磁 功率 (W)	电枢 电流 I_a (A)	总电流 I (A)	输入功 率 P_i (W)	效率 η (%)	质量 (kg)
电磁式 直流机	Z 25/20—220	220	0.125	2000	25	0.14	30.8	0.33	0.47	103.4	24.2	2.4
	Z 50/40—220	220	0.125	4000	50	0.14	30.8	0.61	0.75	165	30.3	2.4
	Z 50/20—220	220	0.250	2000	50	0.13	28.6	0.38	0.51	112.2	44.6	3.2
永磁式 直流机	ZD 136 A	12	0.115	2100	30	—	—	4.8	4.8	58	51.7	1
	ZD 167 B	12	0.300	2000	60	—	—	9	9	108	55.6	1.7

采用钕铁硼永磁材料制成的励磁系统取代同步电动机电磁式励磁系统，也可取得明显的节电效果。

参考书目

陈丕璋等. 电动机节能技术. 北京: 科学出版社, 1989

(蒋凤铎 徐纪法)

diandongji tiaosu

电动机调速 (speed control of motor)

根据被拖动机械的工况需要，对电动机的转速进行控制的技术。由于生产的需要以及从节能、提高自动化水平、延长被拖动机械的使用寿命等出发，人们使用了多种可调速的动力。电动机调速具有调速范围宽广，控制性能好，效率高，使用维护方便，环境适应性强，又不污染环境等优点，因而被广泛应用（见电力拖动）。电动机调速通常分为直流电动机调速和交流电动机调速两大类。从能量消耗角度看，又可分为低效率的调速方法和高效率的调速方法两类。直流电动机电枢串电阻调速、交流感应电动机转子串电阻调速、交流感应电动机调压调速、交流电磁转差离合器调速属于低效率的调速方法，但调速设备比较简单。直流电动机调压及调磁调速、交流电动机变极调速、交流绕线转子感应电动机串级调速、交流电动机变频调速属于高效率的调速方法，但所需设备比较复杂。电动机调速需由电动机调速系统来实现，调速系统的好坏要由性能指标来考核、判定。

性能指标 电动机调速系统性能的好坏，可以用性能指标来衡量，主要的指标有静差率、调速范围、调速平滑性、稳速精度、效率、运行象限、响应时间、超调等。

静差率 又称调速精度。是指电动机负载由理想空载增加到额定负载时所产生的转速降 Δn_N 与理想空载转速 n_0 之比，以百分数表示，即

$$s = \frac{\Delta n_N}{n_0} \times 100\% = \frac{n_0 - n_N}{n_0} \times 100\%$$

静差率 s 表示了调速系统在负载扰动下被调量 n 偏离给定值的程度，即用来衡量调速系统的静态精度。

调速范围 在额定负载及满足被拖动机械所必需的各项调速指标（如静差率不大于规定值）前提下，能够达到的最高转速 n_{\max} 与最低转速 n_{\min} 之比，也称调速比。

调速平滑性 在一定的调速范围内，调速级数愈多，则认为调速愈平滑。平滑的程度用平滑系数 φ 表示，它是相邻两级转速之比，即

$$\varphi = \frac{n_i}{n_{i-1}}$$

φ 值愈接近 1，则平滑性愈好， $\varphi=1$ 时，称为无级调速。

稳速精度 在规定的电源电压、电源频率和负载波动条件下，在规定的测试时间内，不少于规定次数的转速测量值（每次测量时间以秒计）的方均根误差与额定转速之比的百分数。（见转速控制）

对于某些高精度稳速系统，由于采用静差率来衡量系统性能时没有规定电网电压的幅值和频率扰动对转速的影响，因而是不够完善和确切的，故采用稳速精度来衡量调速系统的动态度。

响应时间 从一个规定的激励加到系统时起，输出量按所要求的校正作用方向第一次达到规定值（如取输出量最终稳态值的 95% 作为规定值）的时间，如图 1 中的 t_s 。响应时间是电力拖动系统的动态指标之一，它可考查系统对给定输入的跟随性的快慢， t_s 越小，表示系统快速性越好。

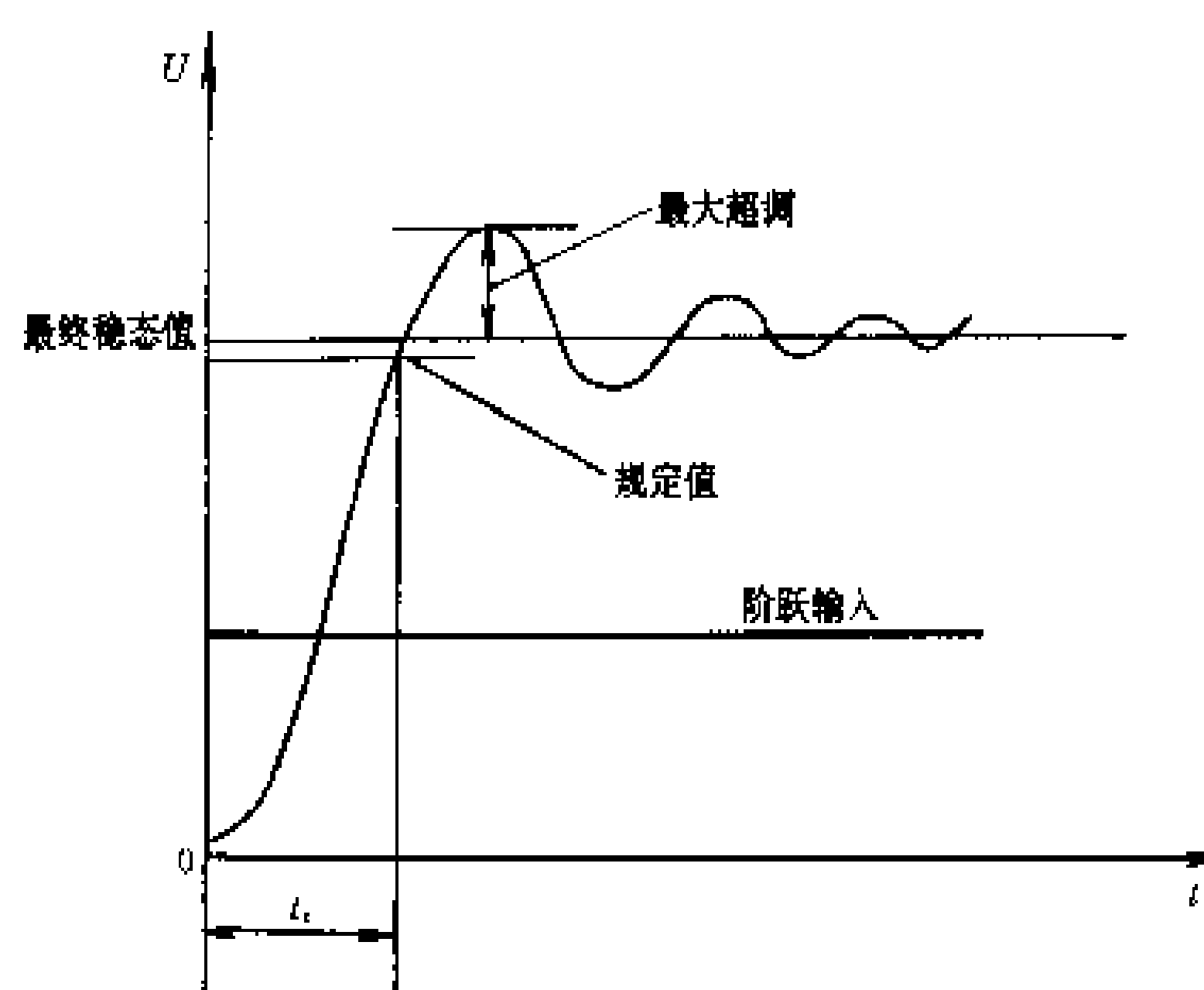


图 1 对单位阶跃输入的响应曲线

运行象限 绘制在以正负转矩和正负转速构成的直角平面坐标里的电动机特性曲线（或曲线簇），被坐标轴分割成 4 份（见图 2），分别被称为电动机的第 1、2、3、4 象限运行转矩-转速曲线。在第 1、3 象限中，转矩的方向与转速方向相同，属电动运行状态，即将电功率转变为机械功率；在第 2、4 象限中，转矩的方向与转速方向相反，属发电运行状态，即将机械功率转变为电功率。例如：拖动水泵的电动机，仅处于第 1 象限运行状态；可逆转搅拌机的电动机，处于第 1、3 象限运行状态；拖动电梯升降的电动机则作 1 至 4 象限运行。凡是能实现快速正、反转运行的系统，称可逆调速系统，否则为不可逆调速系统。运行象限和可逆与不可逆运行反映了生产机械对电动机的运行要求，电力拖动系统必须满足这一运行要求。

超调 就阶跃响应来说，偏离输出量最终稳态值的最大瞬时偏差与最终稳态值之比，以百分数表示。这一指标也属于动态性能指标，反映了对给定输入的瞬



时最大偏离程度。超调量小表示系统的稳定性好。

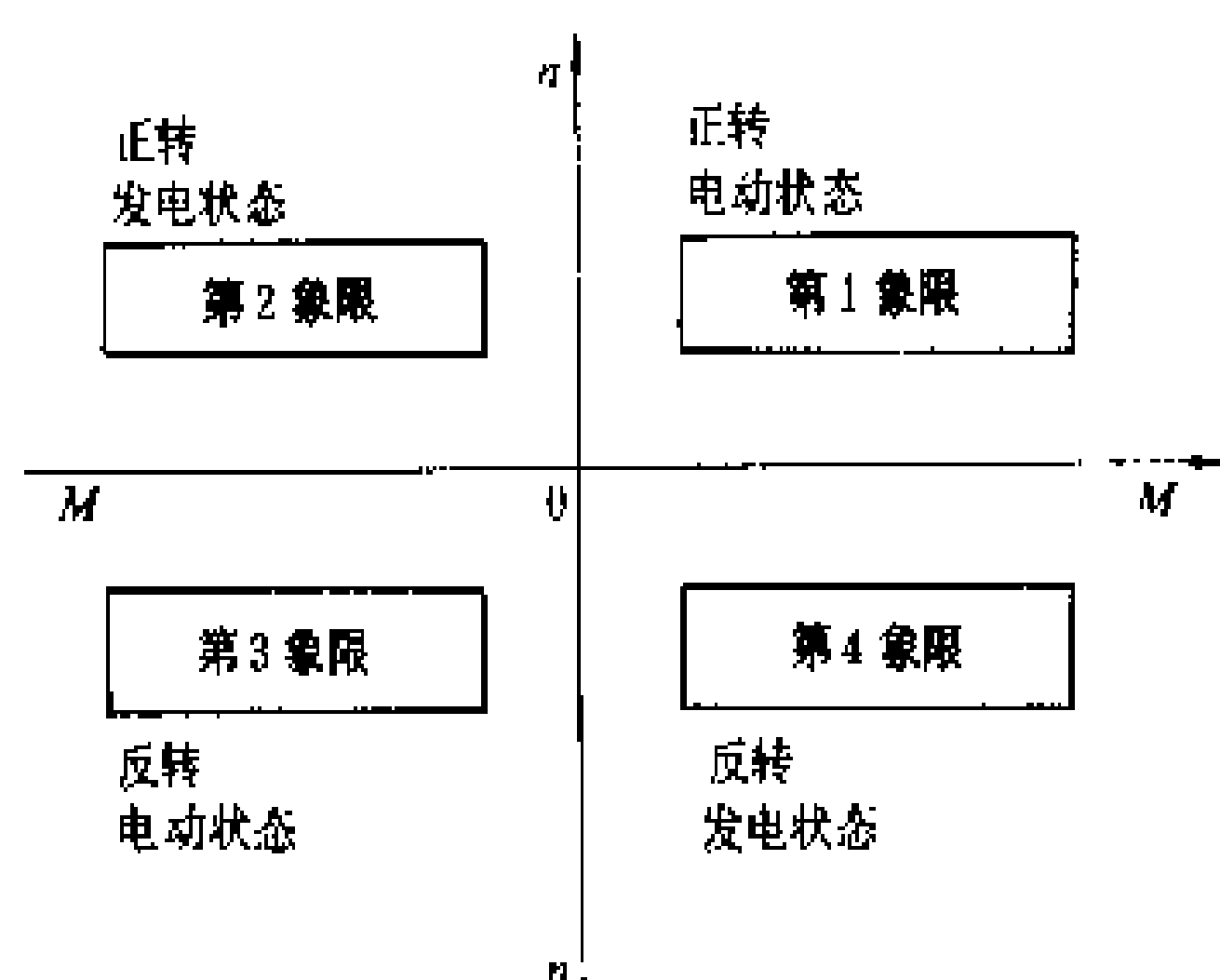


图2 电气传动的四象限运行图

除上述具体性能指标外,调速性能还应考虑调速的经济性,即调速设备的投资和运行费用。各种不同的使用场合,对生产机械有各不相同的要求,所以应当根据被拖动机械的具体情况,确定应考核哪些性能指标以及应采用的数据水平。

交、直流调速的比较 与直流电动机相比较,交流电动机具有结构简单、牢固可靠、重量轻、转动惯量小、效率高、价格低、对环境的适应性强、无换向器等特点,因而维护工作量小。但在实现高性能调速时,其控制技术则比直流调速复杂。20世纪70年代前,高性能的电气调速,一直由直流调速占主导地位。近年来,由于半导体技术、电力电子技术、微机应用及控制技术的发展,交流调速技术发展迅速。现在交流调速的许多性能指标不仅可以与直流调速相媲美,而且有所超过。许多历来应用直流调速的机械设备,如轧钢机主传动和矿井提升机等,改用了交流调速。一大批原来采用恒速传动的水泵、风机,为了节约能源,也采用了交流调速。成熟的交流调速装置,已经大量投入应用。在直流传动方面也有发展,某些晶闸管相位控制直流调速已部分地被性能更优的斩波控制直流调速所取代。

无论是交流调速还是直流调速,都在向全数字控制方向发展。在交、直流调速之争中,有人认为在交流调速装置中,取代直流电机换向器而增加的那部分复杂的电子部件,是否比换向器更可靠,还得看具体情况;与某些类型的交流调速系统相比,在装置的体积或能量效率方面,在实现再生制动的代价或在极低速状态下输出更大的起动转矩等方面,有些直流调速还有其可取之处。也有人交流调速取代直流调速的时间表作出了预计等。总之,交流调速取代直流调速的趋势以及交、直流调速竞争的势态已经形成。

在选择交、直流调速时,一般还可以从以下七个方面考虑。

转动惯量 为改善换向条件,要求直流电动机转

子短粗,因而造成转动惯量大,一般交流电动机无此限制,转子细长,因而转动惯量小,有利于快速响应。为了减少转动惯量而采用的双电枢或三电枢直流电动机的方法,有价格高、占地面积大且易产生轴系扭振的缺点。

功率与转速之积 直流电动机由于受离心力和换向片间耐压的制约,其额定转速与额定功率的乘积的极限小于交流电动机的2%。直流电动机的额定转速与额定功率的乘积的极限约在 $(2\sim4) \times 10^6 \text{ kW} \cdot \text{r/min}$ 以下。因此要求特大容量或高转速的调速系统宜采用交流调速。

工作环境 交流电动机无换向器,维护工作量小,较宜用于多尘、多水汽、易燃、易爆及有放射性的环境。

调整维护水平 为了获得相同的调速性能,交流调速系统比直流调速系统复杂,对调整、维护的水平要求更高。

初始投资 用电力双极型晶体管作功率器件的一般用途的中、小功率(100 kW以下)调速成套装置的价格与直流可逆传动系统的价格相当(包括电机)。但高性能的、能作四象限运行的交流调速装置的价格可能与直流可逆调速装置的高1000 kW以上的交流—交流变频调速装置的价格及单电枢直流可逆调速装置的价格相当(包括电机),但比双电枢或三电枢直流成套装置便宜。不可逆及不对称可逆直流调速装置比交流调速装置便宜。

损耗与冷却 直流电动机的负载电流流入转子回路,散热困难,需要通风冷却的功率大。采用交流同步电动机时,主回路功率流入定子,散热条件比直流电动机好,通风冷却功率比直流电动机减少一半左右。采用交流感应电动机时,主回路功率流入定子,功率因数低,效率与直流电动机相接近。

对电网的影响 晶闸管相位控制直流调速存在输入功率因数低及输入电流中存在5, 7, 11, 13, …高次谐波问题,晶闸管交流—直流—交流变频交流调速装置的输入部分仍是可控整流,对电网的影响和晶闸管相位控制直流调速时相同。

晶闸管交流—交流变频交流调速也基于移相控制,输入功率因数和晶闸管相位控制直流调速的相似,输入电流中除5, 7, 11, 13, …,高次谐波外,还引入旁频,但幅值减小。

参考书目

赵扶摇, 万里雄编著. 直流电动机晶闸管调速系统. 北京: 机械工业出版社, 1986

B. K. 鲍斯著, 交流调速系统. 朱仁初等译. 西安: 西安交通大学出版社, 1990

(黄继鹤)

diandong jiancaoji

电动剪草机 (electric green shear) 修剪草坪的电动工具。电动剪草机有手持操作和长柄操作两种方式。长柄操作剪草机的结构见图。剪草机采用镍镉电池和永磁直流电动机驱动。电动机的旋转运动通过齿轮传动，由偏心轮带动刀片轴上的椭圆槽使动刀片在静刀片平面上作往复剪切运动。电动剪草机上装置有一对橡皮轮，使操作者省力，移动方便。
见家用电动工具。



电动剪草机的结构

1—接手柄电池的电源线；2—塑料外壳；3—电动机；4—齿轮；5—外壳；6—大齿轮；7—静刀片；8—动刀片
(李邦协)

diandong jiaoxiang moguangji

电动角向磨光机 (engle electric grinder) 用磨盘（钹形砂轮）进行砂磨、切割、抛光的电动工具。电动角向磨光机用于修磨工件的飞边、毛刺、焊缝或切割不锈钢、合金钢、普通碳素钢的型材、管材等。



角向电动磨光机结构

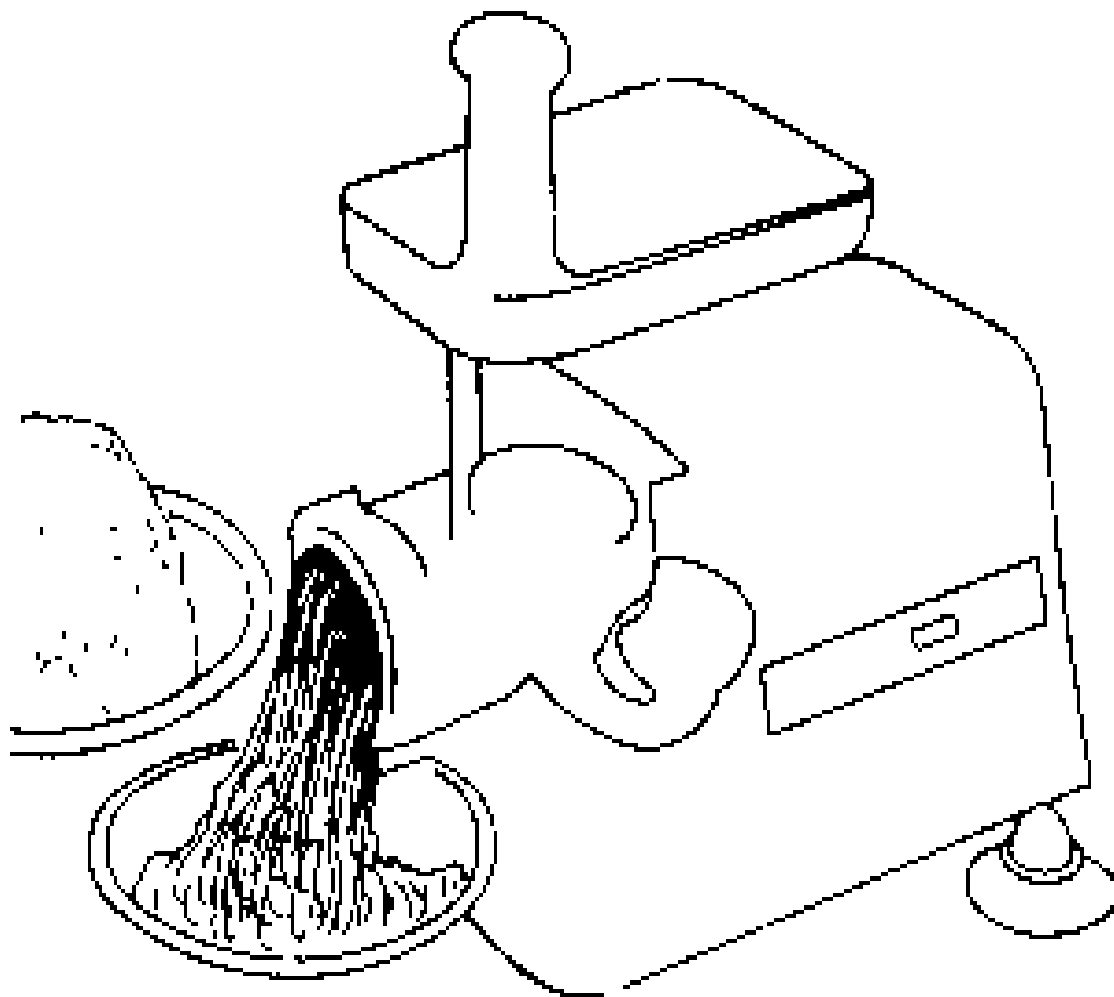
1—钹形砂轮；2—砂轮保护罩；3—减速箱；4—电动机
电动角向磨光机由电动机、减速装置、工作头、保护罩等组成。角向旋转运动通过装设在减速箱内的一对由电动机带动的螺旋锥齿轮产生，见图。电动机为单相串励式，输入功率为400~1000 W。砂轮轴上端用滚针轴承支承，以减小钹形砂轮的径向摆动。钹形砂轮由

压板夹紧，保护罩固定在减速箱的下端。保护罩用2 mm 钢板制成，不允许采用脆性材料。保护罩安装后钹形砂轮外露部分的角度不能大于120°。
电动角向磨光机使用前应检查砂轮的旋转方向是否与齿轮箱上标记的旋转箭头的方向一致，砂轮规格是否相符；使用中的安全线速度不能低于80 m/s；操作时，不允许拆卸砂轮保护罩；不能用力过猛，或冲撞工件，以防砂轮爆裂而发生伤害事故。
电动角向磨光机换上专用砂轮还可切割砖、石、石棉波纹板等建筑材料；换上圆盘钢丝刷、砂盘可用于除锈、砂光金属表面；换上抛盘可抛光各种材料的表面。

见家用电动工具。
(李邦协)

diandong jiaorouji

电动绞肉机 (electric meat grinder) 利用电力将肉类绞制成细末的厨房器具。



电动绞肉机外形图

绞肉机由动力头和切削刀具组成，其外形见图。动力头的外壳常用铝精铸或压铸，也可用塑料注塑成型，其中装有微型电动机及减速机构，带动刀具进行切削，并推动送料装置送料。电动机功率在45~120 W 之间。绞肉机配备有多种切削刀具，如切片器、粗切器、细切器等。它们可以很方便地凭借机头上的螺纹快速地装上或拆下。因此，它不仅能绞碎肉类，而且能进行粗切、精切、拌合等操作。有的绞肉机还配备有磨碎器、榨汁器、碎冰器等附件。磨碎器安装在绞肉机的前部，榨汁器装在绞肉机的顶部。
(叶宗林)

diandong pingban baidongshi shaguangji

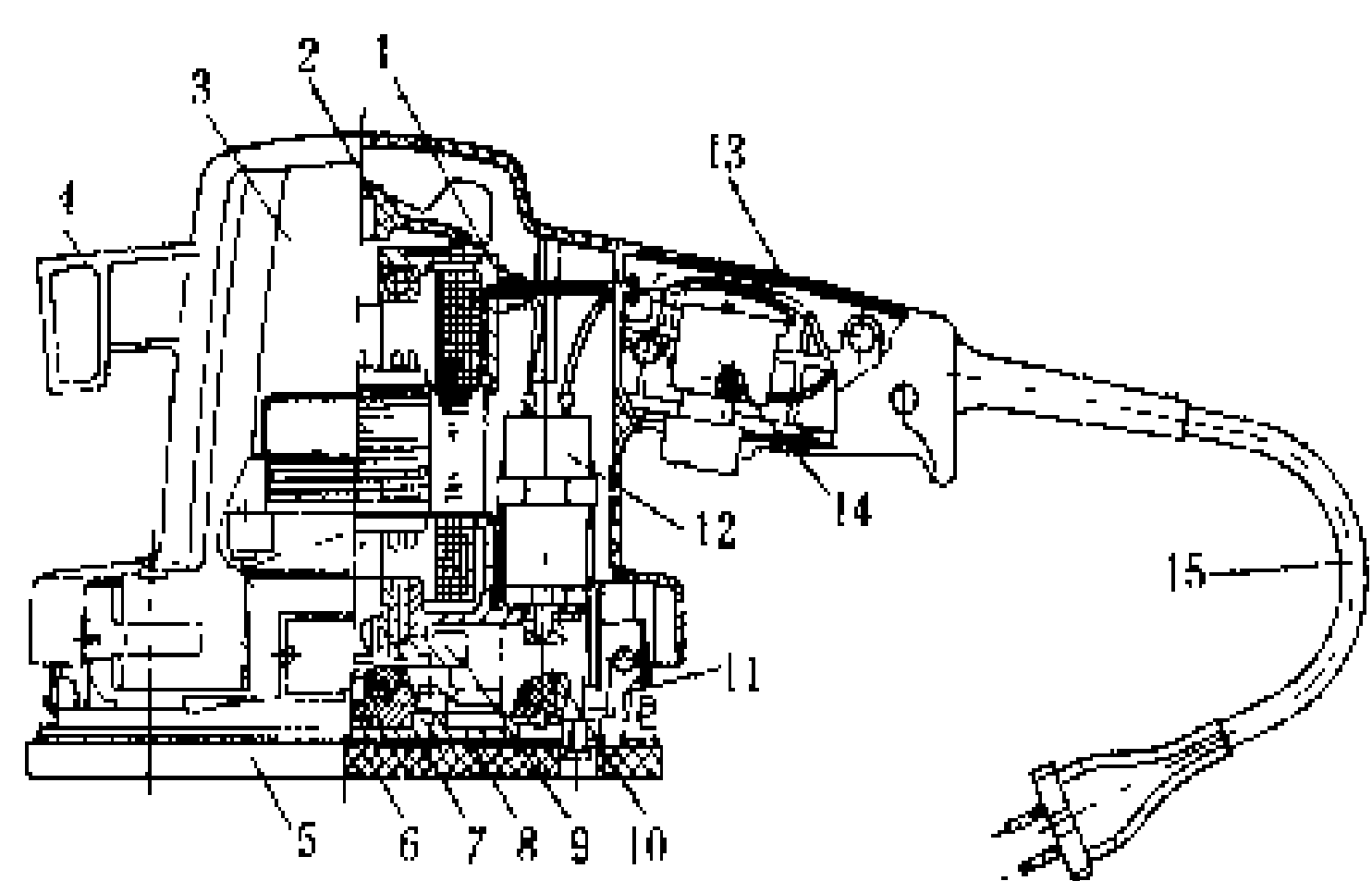
电动平板摆动式砂光机 (electric orbital type sander) 用砂布、砂纸对各种材料的工件表面进行砂磨、光整加工用的电动工具。电动平板摆动



式砂光机用于建筑装潢、室内装修、家具制造等场所对木结构件进行精磨、砂光、打蜡上光；内外墙面的砂平、打光作业；也能用于除锈、打光腻子等。它既能用作平面砂光，也能砂光略带弧形的曲面。按选用电动机的类型，有单相串励式（175 W）和单相异步电容式（180 W）两种。

电动平板摆动式砂光机由电动机、摆动机构、摆动平板等组成。摆动机构由电动机的旋转运动带动偏心轴，并驱动装有砂纸或砂布的摆动平板作轨道圆摆动（见图），从而对作业面进行砂光。为克服偏心轴旋转产生的振动，在紧靠平板的转子轴上安装一扇形偏心平衡块。砂磨不同材质的工件时，选用不同磨料制成的砂纸或砂布。操作时，加压要适当、均匀，否则会造成工具过载和损伤作业面。

见家用电动工具。



单相电容平板摆动式砂光机的结构

1—后端盖；2—风扇；3—外壳；4—前手柄；5—海绵垫；6—绝缘轴承座；7—偏心轴；8—铝合金平板；9—扇形平衡块；10—橡胶柱；11—砂布夹紧装置；12—电容器；13—手柄；14—电源开关；15—电源线

（李邦协）

diandong diepianji

电动切片机（electric slicer）专门用来将瓜类、薯类、土豆（马铃薯）、萝卜等食物快速切成片状的厨房器具。切片机的底盘呈方形或长方形，宽厚而平稳。底盘上垂直安设着一只切刀，切刀一般用薄不锈钢板制作。机壳里有一只微型电机，借助皮带减速系统或齿轮减速装置带动刀盘旋转进行切片（见图）。电机功率大约 100 W 左右，为保证安全，所有切片机的刀盘都设有可靠的防护罩，防止刀盘的刀刃与人手接触。

切片机背面是食物送进装置。它由滑轨板、滑台、挡板、拇指护板等部分组成。滑轨板可环绕底盘上的一根轴掀起与放下。存放不用时可掀起，既可少占地方，又可保护刀盘，用时放下。其上有滑轨，滑台可在滑轨

上任意滑动。滑台是放置要切食物的地方，为了防止食



电动切片机

物跑动，滑台上加设了挡板和拇指护板。拇指护板可在挡板上任意滑动。操作时只要推动挡板，并用拇指推动护板，便可方便地送进食物，确保安全。拧动厚度调整旋钮，即可调整切片的厚度。

（叶宗林）

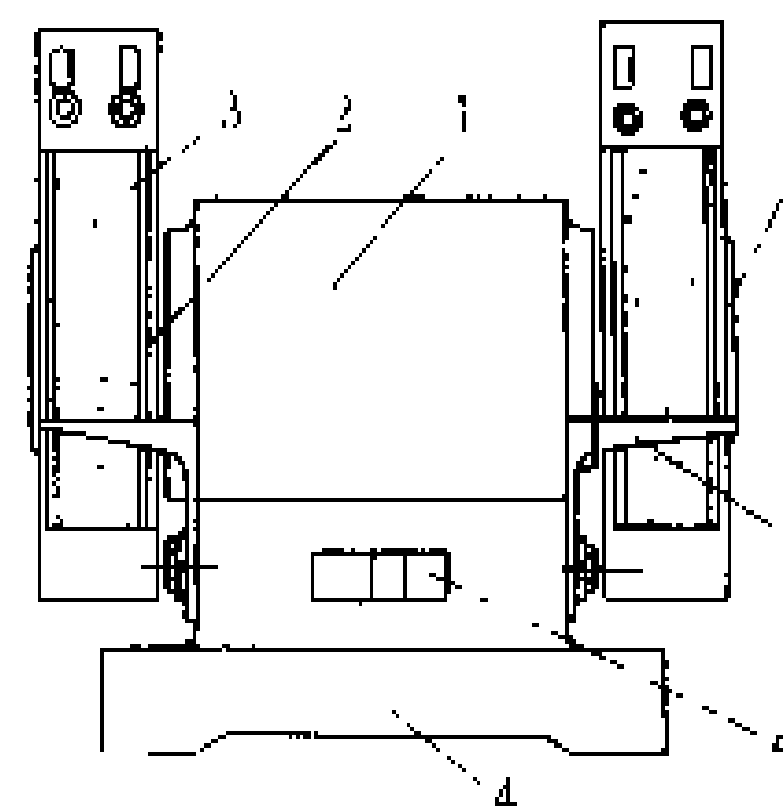
diandong renmo shalunji

电动刃磨砂轮机（electric tool-grinding machine）

利用砂轮刃磨各种刀具、刃具的电动工具。电动刃磨砂轮机用于刃磨钻头、圆锯片、铣刀及其它小型刀具、刃具。将砂轮换成钢丝刷、抛轮，可用作除锈、抛光；换成铣刀可铣削小零件。

电动刃磨砂轮机结构见图。它选用单相电容运转异步鼠笼型电动机直接

驱动砂轮进行作业，额定输入功率为 175～350 W。电动机转子为双输出轴转子，轴的两端安装砂轮。砂轮由两块压板夹紧，靠近电动机一边的压板与轴固紧，不能作相对转动。保护罩用 2 mm 钢板制



电动刃磨砂轮机结构

作，其开口小于 120°。1—电动机；2—砂轮保护罩；3—砂轮；4—机座；5—电源开关；6—支架；7—砂轮夹紧装置

刃磨砂轮机规定使用的最大允许尺寸。砂轮不允许有开裂，其旋转方向需与保护罩上标记的箭头方向相一致。严禁拆除保护罩进行刃磨作业。刃磨冲击钻头和电锤钻头时不允许加冷却介质。

见家用电动工具。

（李邦协）

diandong tixudao

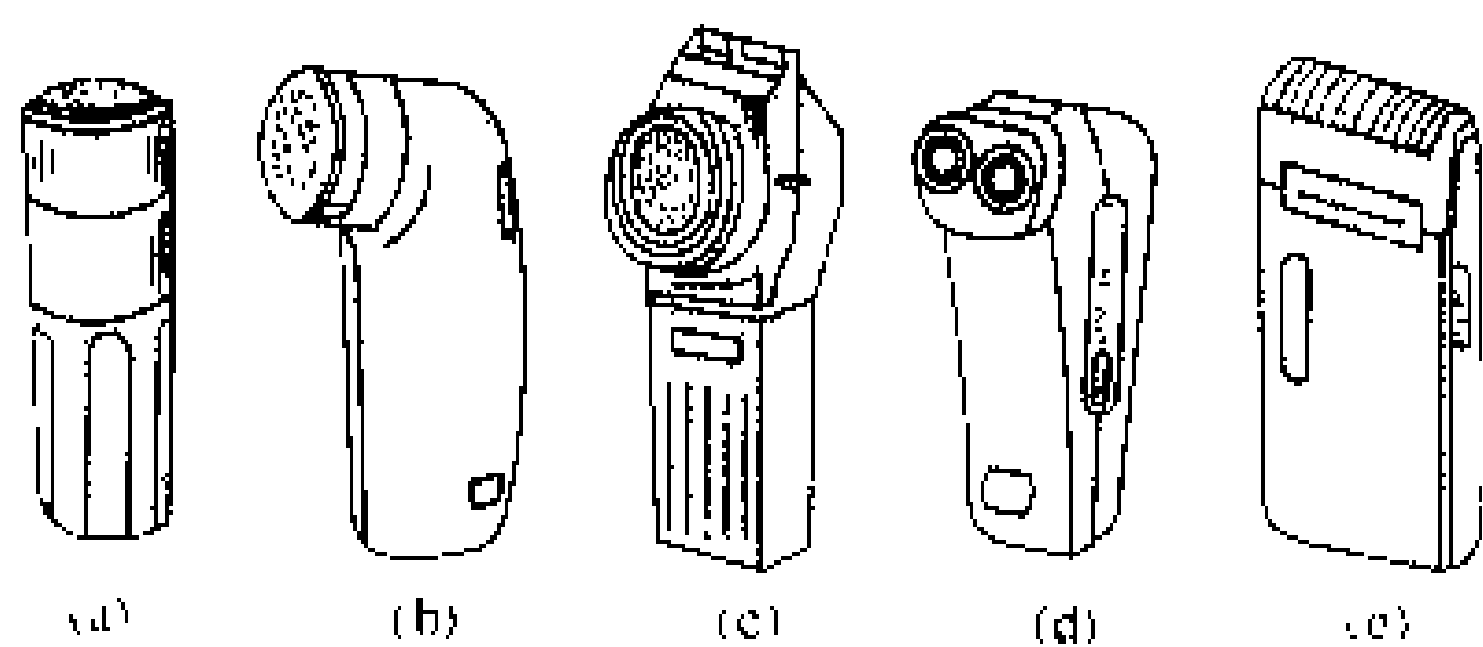
电动剃须刀（electric shave）利用电力

带动刀刃动作,剃剪胡须和鬓发的整容器具(见家用电器)。按刀刃动作方式,电动剃须刀可分为旋转式和往复式两种。前者结构简单,噪声较小,剃须力适中;后者结构较复杂,噪声大,但剃须力强。按原动机驱动方式,可分为电动机式和电磁振动式两种。按外形结构可大致分为直筒式、卧式、弯头式、兼用式(带电推剪)、双头式和三头式等种。

各种电动剃须刀的主要组成部分有:壳体(主体和电池盒)、驱动机构(电动机或电磁铁)、网罩(外刀刃、定刀刃)、内刀刃(动刀刃)和传动机构(联接轴套、离合器等)。壳体多用塑料、网罩用不锈钢、内刀刃多用碳素钢制成。电动剃须刀的工作原理实质上是剪切原理,内刀刃和网罩内表面密切配合,胡须和毛发从网罩外面伸入其孔槽内,内刀刃高速旋转或往复动作,与网罩形成相对运动,从而将伸入的胡须和毛发剪切掉。

兼用式(带电推剪)电动剃须刀由两部分组成:一部分是旋转式剃刀,供剃削短胡须用;另一部分是电推剪,供剪削较长的胡须和鬓发用。利用转换扳手使离合器脱离旋转式剃刀而与电推剪啮合,通过离合器的偏心轴把电动机的旋转运动变成往复运动,从而带动电推剪动作。

双头、三头式电动剃须刀的电动机通过联轴器和齿轮,带动两个或三个剃刀同时工作,剃刀可随人的不同脸形和部位自动调整剃须角度,所以剃削面积大、效果好。这类剃须刀的电动机功率较大,耗电量大,通常采用多电源方式驱动。



各种电动剃须刀的外形示意图

(a) 直筒式; (b) 弯头式; (c) 兼用式(带电推剪);
(d) 双头式; (e) 卧式(电磁振动式)

电动剃须刀的选用应根据各种条件综合考虑。流动性较大的使用者,宜选用干电池或充电式剃刀,经常在固定地方的使用者,可选用交流式或充电式。胡子稀疏的人用一般旋转式剃刀即可,胡子浓密的人应选用多头式或往复式剃刀。通常旋转干电池式剃须刀的价格较便宜,交流充电式剃须刀的价格和往复式剃须刀的价格较高。各种电动剃须刀的外形如图所示。

(刘有常)

diandong wanjū

电动玩具 (motor-driven toys) 通过电动机把电能转变为机械能,从而做出各种动作的机动玩具。

电动玩具涉及力学、声学、光学、电子学等多种学科,可以开发儿童和成人的智力,使人们在娱乐之中得到启迪。

电动玩具多以电池为动力源,内部结构一般包括外壳、运动机构、电池箱、底板、电路五大部分。电动玩具的外壳可以用金属、塑料、竹木、皮毛、陶瓷、纸张或者复合材料制成,并要求造型美观、色泽鲜艳、保证安全。运动机构由玩具电动机、齿轮、轴、凸轮、变速箱骨架等装配而成,它的主要功能是通过齿轮的变速,将电动机的高速旋转降低为玩具动作所需的低转速,再通过传动部件把动力传送到执行部件,从而使玩具产生运动。电池箱用于固定电池,常用的有立式和卧式两种。底板是电动玩具的基础部件,变速箱骨架、电池箱、运动机构等多安装其上,因此要求结构紧凑、安装方便牢靠。电路部分包括连接导线、电源开关、控制电路、发声发光电路等。普通玩具只需人手开启电源开关,即可由电动机驱动作出动作。高级玩具动作较为复杂,一般需要采用磁控、声控、光控、触控(有线或无线)遥控等技术加以控制,可根据人们发出的信息指令作出相应的动作,或者根据外界条件的变化完成自身的动作。有些电动玩具的动作还带有程序性。

电动玩具可从动作特点上分为以下几类:遇障碍能自动拐弯的回轮类玩具、驶出桌面能自行拐回的不落地类玩具、模拟人或动物动作的行走类玩具、依赖轨道运动的轨道类玩具等。有些玩具除具有运动的特点外,还能利用机械、电子元器件来发声、发光,使之具有更大的吸引力。

(潘宗福)

diandong xiuzhiji

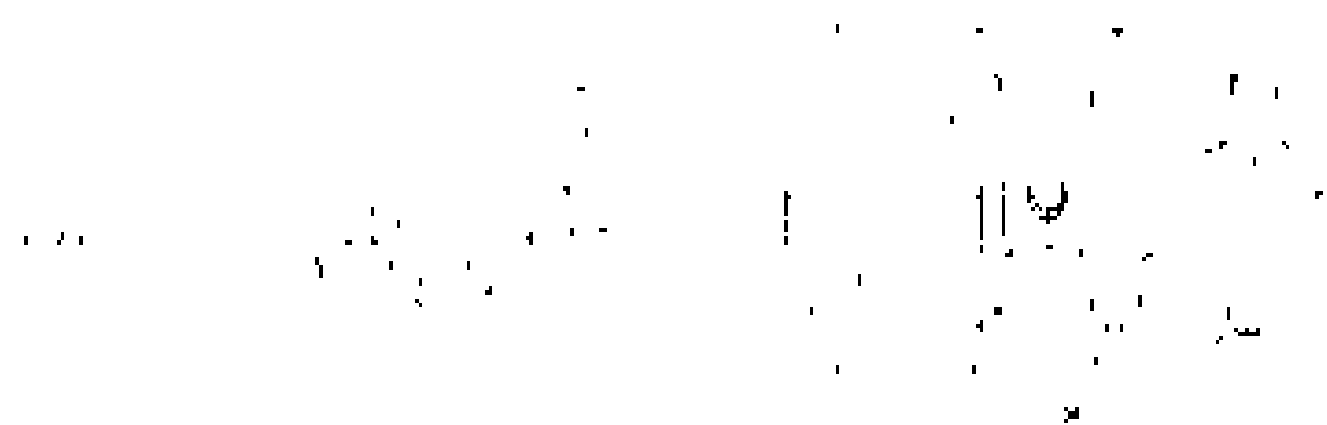
电动修枝机 (electric shrub and hedge trimmer) 修剪灌木及树篱用的电动工具。

电动修枝机结构见图。它由电动机、偏心滑块机构、切割机构、安全防护架和手柄等组成。电动机的旋转运动通过偏心滑块机构转换成切割刀片的平面往复运动。切割机构两边的切割刀片与刀齿之间的长度差至少为 8 mm,长齿齿中心部分是钝口的。此外,各长齿钝部最近点之间的开口距离应不大于 14 mm。

电动修枝机备有两个手柄,手柄上各装一只开关,当一只手离开手柄时,该手柄上的开关就切断电源,以保证在任何情况下都能防止手被切割刀片所伤害。切割刀片与手柄之间还设置有安全防护器,当双手握持

dian · 电

手柄时,刀片不会触及手指。



电动修枝机的结构

1—切割机构; 2—安全保护架; 3—电源开关; 4、5—手柄; 6—电动机; 7—切割刀片; 8—刀齿

修剪时,操作者必须双手握持手柄,站在坚实的地面上,并将电源线放置在切割区之外。如果切割机构被粗枝杆卡住,应将开关断开。

电动修枝机的切割机构无法设置保护罩,操作时应注意安全。

见家用电动工具。

(李邦协)

diandongxu

电动序 (electromotive series) 以氢离子浓度为 1 mol/L 、温度为 298 K 、在 0.101325 MPa 气压下的氢的电极势为零作为参比标准,测得各种化学物种(原子、分子、离子)的电极势,按由小到大的次序排列成的序列表。电动序又称电化序。一些常见的金属(包括氢)的电动序是: K 、 Ca 、 Na 、 Mg 、 Al 、 Zn 、 Cr 、 Fe 、 Ni 、 Sn 、 Pb 、 H 、 Cu 、 Hg 、 Ag 、 Au 。其中钾的电极势最小,金的电极势最大。一般情况下,在氢以前的金属能从酸中置换出氢,在氢以后的则不能。例如,锌能从酸中置换出氢,而铜不能。前面的金属能从盐溶液中置换出后面的金属。例如,锌能从硫酸铜溶液中置换出铜。

(马荫华)

diandu dianfei

电度电费 (energy cost) 按实际用电量计算的电费部分。电度电费用以补偿电力企业随发供电量变化而变化的变动成本支出部分。对居民等小用户,电度电费即为其全部应交电费;对执行两部制电价(见基本电费)的用户,电度电费仅为应交电费的一部分,再加上基本电费才为其全部应交电费。电度电费是按照电力企业在用户处安装的计费电能计量装置中有功电能表读数为基数计算的。

由于电能表计数是累计值,因此在计算一个规定期限内的用电量时,应是期末读数与期初读数之差。在电能计量装置中装用电流互感器和电压互感器时,还要分别乘以电流互感器和电压互感器的变比。电流互

感器(或电压互感器)的变比为电流互感器(或电压互感器)一次绕组与二次绕组的额定电流(或电压)的比值。

高电压用户(见用户)的计费电能计量装置如装在其专用变压器低压侧,执行高压侧规定的电价时,称为高供低量用户。这类用户的用电量应把用户专用变压器的钢铁损电量中的有功损耗电量部分并入用电量之内,计算出电度电费。

(王世煜)

diandu

电镀 (electroplating) 利用电解原理将金属或合金沉积在镀件表面,形成金属镀层的表面处理技术。镀层的作用是装饰或(和)防腐蚀,在工业上则用来增加金属零件、部件的耐磨性,防腐蚀,修补磨损件,增加导电性和钎焊性能等。镀层金属有铜、镍、铬、锌、铜锌合金、铜锡合金等。电镀的原理是以镀层金属为阳极,以镀件为阴极,以含有镀层金属盐的水溶液为镀液(电解液),通直流电进行电解。阳极金属不断溶解,在阴极镀件表面析出,形成镀层。镀件多为金属,也可为非金属如塑料、木材、玻璃、皮革等。

金属镀件的电镀 为获得良好的镀层应做以下工作:选择镀层、选择电镀方式、配制电镀液、镀前表面处理、控制工艺条件、镀层检测。

镀层选择 应根据镀件的用途、材料性质、使用条件等来确定镀层的种类和厚度。镀层一般可分为装饰性、防护性、功能性等三种。

(1) 装饰性镀层用于增加镀件的光亮度和使镀件美观,可镀镍、铬、锡青铜、金合金等,镀层厚度 $0.3 \sim 24 \mu\text{m}$ 。

(2) 防护性镀层用于保护金属表面,防止腐蚀或增加耐腐蚀性,可镀锌、锡、锡锌合金、镉等,镀层厚度 $6 \sim 24 \mu\text{m}$ 。

(3) 功能性镀层用于改善镀件表面状态,提高工作性能。如镀铬、镍或铁镀层可提高镀件的耐磨度,称为耐磨镀层;镀铅基合金镀层可增强镀件的耐疲劳性,镀锡基合金镀层可增加耐磨和耐腐蚀性,统称为减磨镀层;镀金、银、锡、锡镍、铅锡合金,可提高镀件的导电性和钎焊性,称为可焊镀层。功能性镀层厚度为 $4 \sim 24 \mu\text{m}$ 或更厚。

选择电镀方式 应根据镀件的尺寸、形状等确定电镀方式。较常用的电镀方式有吊镀、滚镀、连续镀、刷镀等。

(1) 吊镀。将镀件固定在挂具上进行电镀,适用于较大零件。

(2) 滚镀。将零件装入带孔的、可转动的圆筒中,



在镀液中翻滚电镀，适用于小零件的电镀。

(3) 连续镀。使线材和带材镀件连续通过镀液，并在镀液中可靠地接触阴极进行电镀。

(4) 刷镀。用于不能浸入镀槽或只需在局部进行电镀的镀件。以镀件为阴极，以镀层金属制成可移动的阳极（刷笔），用纤维材料包在刷笔上并吸满镀液，在镀件上需要电镀的地方进行刷镀。

配制电镀液 普遍使用含有镀层金属盐的水溶液作电镀液。当镀层金属电极电位较负，在阴极析出受到氢离子限制时，可用熔盐或有机电镀液。电镀液应有以下功能：供给沉积在阴极的镀层金属离子；增加电镀液的电导；有防止阳极钝化的作用；pH 值适当，防止氢的析出；改善镀层质量。

电镀液的配制十分复杂，对不同的镀层金属有不同的配制方法，对同一种镀层金属也因对镀层性能要求不同而有不同的配制方法。大部分配方中含有的氰化物，是环境的污染源。通常在电镀液中加入络合剂以形成络离子，改善镀层金属结晶的致密度；加入有机物添加剂如光亮剂、整平剂等，以改善镀层质量。

镀前表面处理 镀前表面处理对保证镀层质量十分重要。通常包括磨光、除锈、除油污、水洗等操作，以保证镀件表面光洁、干净。

控制工艺条件 影响电镀过程的主要条件有：电镀液的离子浓度、pH 值、温度、流速、阴极电流密度等。

(1) 离子浓度大时，可提高电镀液的导电性和阴极电流密度，有利于镀层的均匀性；离子浓度小时，极化作用变大，镀层晶粒细致，均匀。络合剂和添加剂可以增加或降低金属离子的浓度。

(2) pH 值是电镀液的重要条件之一。镀层金属不同，要求的 pH 值也不同。pH 值小时，容易析出氢气而降低阴极电流效率。通常加硼酸、醋酸钠等缓冲剂以维持一定的 pH 值。

(3) 电镀液温度高时，能加速晶核的生长，晶粒较粗，镀层硬度低，均匀性差，但能增加金属盐的溶解度，便于提高电流密度，减少电镀液的粘度和吸附氢气的可能性，减轻镀层的内部应力。

(4) 增加电镀液的流速可以减少扩散层的厚度，提高金属离子的迁移速度，提高临界电流密度，迫使附着在镀件上的氢气逸出，避免在镀层上出现气泡。

(5) 阴极电流密度是极为重要的电镀条件。电流密度大可缩短电镀时间，所产出的晶核数目较多，有利于获得较精细的电镀层，有利于抑制氢气的析出，镀层的均匀性也较好。但电流密度过大时，电流效率降低，有产生海绵状镀层的危险。

镀层检测 包括外观检查，厚度、针孔度、耐腐蚀

性、附着强度、硬度检测以及对特殊要求如色泽与光亮、耐磨性、减磨性、可焊性的检测。除外观检查外，多数检测项目需要用物理法或化学法来完成。

非金属镀件的电镀 需要先在其表面沉积一层导电金属，再按金属镀件进行电镀。

用机械或化学方法将镀件表面粗化，以增加接触面，然后浸入还原性溶剂中使其表面吸附还原剂，称为敏化，再浸入含有贵金属离子如 Ag^+ 或 Pd^{2+} 的溶液，称为活化，活化剂被还原成晶核附在镀件表面，为电镀金属层打下基础。

电镀陶瓷玻璃制品时，还可将氧化银和其他物质混合，制成银浆，涂在镀件表面，经高温处理，氧化银分解成金属银层。这种方法称为渗银。

电镀的沿革及发展趋势 1800 年，意大利科学家 A. 伏打 (Alessandro Volta)，1836 年，英国 J. F. 丹尼尔 (John Frederic Daniell) 发明电池为电镀技术打下了物质基础。1833 年，英国 M. 法拉第 (Michael Faraday) 发现电解定律为电镀技术奠定了理论基础。德国 M. H. 雅科比 (Moritz Hermann von Jacobi) 在 1836 年发明了电镀技术，不久电镀各种金属镀层的技术相继发明。但电镀技术得以推广和工业化则是在 1870 年工业用直流发电机制成以后。1960 年，美国研究成功在非金属材料上电镀的新工艺。1967 年无氰电镀得到推广。现在已开始研究气相电镀以解决电镀废水、废液排放造成的环境污染问题。

除常规电镀外，近年来还推行复合电镀、脉冲电镀以改善镀层质量。复合电镀是在沉积镀层金属的同时，将需要的复合材料的颗粒借吸附作用也沉积在镀件上。脉冲电镀是利用脉冲电流进行电镀，以改善镀层的表面状态。

自动电镀已有很大发展。自动电镀的镀件悬挂在传送带上，在程序控制器或计算机控制下，依次通过清洗槽、水洗槽、电镀槽等得到成品镀件。

参考书目

郭鹤桐等编著，电镀工艺学，天津：天津科学技术出版社，1988

(马荫华)

dianfangguo

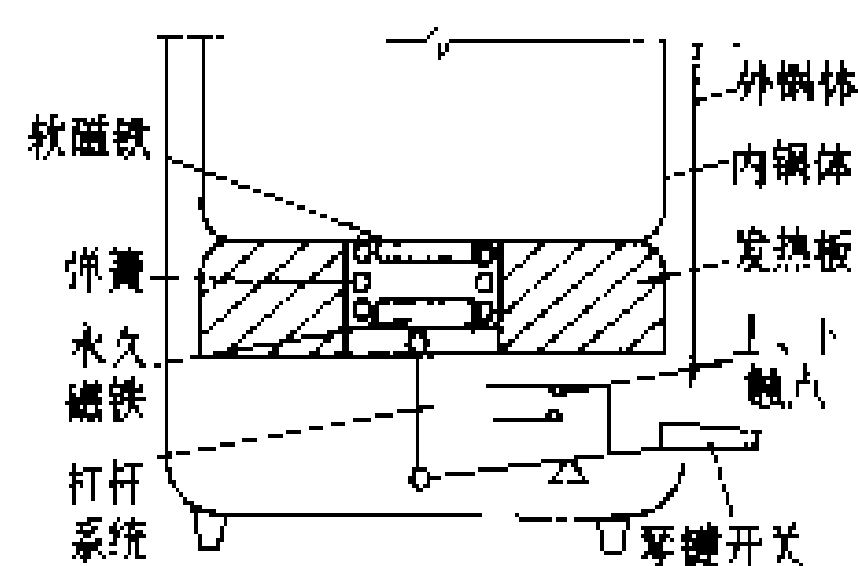
电饭锅 (electric rice cooker; electric slow cooker)

利用电热蒸煮食物的厨房器具。按锅体结构分为组合式和分体式；按锅内工作压力大小分为低压式 ($0.5 \times 10^5 \text{ Pa}$)、中压式 ($1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$) 和高压式 ($1.5 \times 10^5 \text{ Pa}$)；按加热食物的方式分为直接加热式和间接加热式。无论哪种型式，其工作温度多在 100°C 左右，并可根据不同需要供蒸、煮、炖、煨、焖

等多种烹饪操作。

结构 电饭锅通常由锅体、电热元件、控温和定时等部分组成。锅体分内、外两层，在两层之间为空气或填充耐热绝缘材料，内锅体即为盛装食物器皿，外锅体起安全防护和保温作用。电热元件通常采用外包金属管的电热管，并铸镶在发热板内，比较高档的产品安装2~4根电热元件，其功率为多档、可调。控温装置包括限温器和恒温器。前者安装在发热板中央空腔内，使锅内温度不超过 $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ ；后者是借助双金属片恒温器使食物温度保持在 $60\sim 80^{\circ}\text{C}$ 的范围内，便于随时食用。20世纪80年代以后发条式定时器在电饭锅上的应用较为普遍。到了80年代中期，带有微型电子程序控制器的电饭锅已投放市场。90年代以后，一种借助微处理机操作，实现功率、温度、时间多功能调控，多层多层的新型过程控制电饭锅，已成为发展趋势。

工作原理 先将盛装食物的内锅，置于发热板上。按下电源开关后，与其连接的杠杆机构另一端的永久磁铁，由于杠杆作用而上升，并与发热元件中腔的软磁铁（感温器）接触，同时杠杆上的联动触点处于接通状态，电饭锅投入烹饪工作（如图所示）。在电路接通瞬间，锅温尚未上升，软磁铁的“磁温特性”处于居里温度以下，呈最佳铁磁性，永久磁铁被吸于最高位置。此后，电热元件继续发热，当锅内食物升温到 $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ 时，软磁铁感知居里温度而失去铁磁性，永久磁铁在自身重力和弹簧的共同作用下，从最高点降至最低点，杠杆上的联动触点自动脱离，供电回路断开，电热元件失去电源而停止发热，达到限温目的。由于发热元件热容量较大，继续加热食物至熟透状态。同时双金属片恒温



电饭锅工作原理图

电路自动投入工作，进入保温过程。

中国市售电饭锅容量规格繁多，最小的为0.6 L，额定输出功率300 W，可供1~2人使用；最大的可达

4.2 L，1550 W，可供12~16人使用。

dianfer guanli

电费管理 (cost manegement) 依照法定电价和用户实际用电情况，准确、及时回收电费的活动。电费管理是电力企业经营管理的重要一环，供电企业营业管理的内容之一，电力企业再生产的必要条件。电费管理分为抄表、核算、收费和综合统计四个相互联

系的环节。随着电子计算机的应用，四个环节已难以完全机械地分割，而形成一个以计算机为手段的现代化电费管理系统。

抄表 定期抄录对用户计费的电能计量装置读数，核对与计费有关的表计、接线、封印。内容包括：

(1) 抄表周期。一般为1个月，在英国、澳大利亚等国和中国部分地区也有2个月（称隔月抄表）或更长时间抄一次表，少数国家（如匈牙利）实行按双方签订合同的分月电量划拨电费，年终一次抄表结算的办法。

(2) 抄表日期。中、小电力用户一般为按用户均匀排开的固定日期（遇周休、节假日顺延）抄表；大电力用户在月末抄记。中国大电力用户按用电量大小分零点表和月底表两种。零点表在次月第一天零点抄记；月底表一般在每月25日以后抄记。

(3) 抄表方法。主要有现场手抄、现场以抄表微机抄记、电话口述抄表和远动遥测抄表四种。现场手抄是中国和大部分国家对中、小电力用户和居民用户抄表的主要方法。抄表微机抄记在发达国家使用较多，中国部分地区也已使用。电话口述与远动遥测抄表一般仅对大电力用户使用。电话口述抄表需定期赴用户处核对。远动遥测抄表是利用各种远动通道或无线电台载远方遥测表计信息进行抄表。这种方法在中国少数地区开始使用。

核算 对抄表读数和电费计算进行复核。采用计算机管理电费时，由计算机自动校核。

收费 发达国家以银行划拨电费办法收费为主，对居民用户实行通过银行储蓄付费。中国对大电力用户多采用通过银行每月分若干次划拨或委托银行代收，月底结算的办法；对小电力用户和居民用户收费，一般采用委托银行代收、委托公用事业联合收费站或农村电管站代收、设站坐收、派员分区固定日期坐收、派员至用户走收等办法；少数城乡对中、小用户实行先付费后用电的购电制；也有部分城市实行与银行计算机联网划拨用户电费的办法。

综合统计 国民经济各行业和人民生活用电的基本情况，都从电力营业部门反映出来，作为电费管理部门要对各项数据进行分项分类综合统计并向供电企业有关科室提供基本数据，作为资金的部门分割、财务成本分析、用电分析和用电负荷预计的基础。

由于电费管理具有大量、常规、划一等特点，用计算机把抄表、计算、核算、开据、划拨电费、汇总综合编制程序可起到准确、快速、节省入力的效果，电费业务又与其他业务密切相关，建立数据库后又可资源共享，提高办事效率，减少差错，因此应用计算机进行电费管理有广阔的前景。

(王世煜 顾嘉棠)

dianfei zhinajin

电费滞纳金 (cost of penalty for deferred)

用户超过规定期限交付电费时，应向供电企业交付延期付费的经济补偿费用，简称滞纳金。电费滞纳金属法定违约金。交纳电费滞纳金是维护供用电双方经济权益的措施之一。

由于用户不按规定期限交付电费将影响电力企业资金周转和用款计划的兑现，导致增付利息，需由用户承担滞纳金补偿。世界各国对电费滞纳金的计算方法通常是仿照银行计算利息的方式，即按逾期日数乘以延期交付电费额，再乘以滞纳金率计算。中国的滞纳金率由国家在有关行政法规中规定。

(王世煌)

dianfengshan

电风扇 (electric fan) 由电动机带动风叶旋转来加速空气流动，或使室内外空气交换的一种空气调节器具(见家用电器)。其作用是产生低压气流，实现通风降温。它广泛应用于家庭和各个工作场所。

1889年美国福特华耐制造公司(Ford Wayne Works)顾问工程师J.J.伍德(J.J. Wood)制成世界第一台电风扇。20世纪电风扇品种增多，出现落地扇、吊扇，并得到迅速发展。现代的电风扇造型美观，功能齐全，由简易无级调速发展到遥控、声控以及微电脑控制，实现阵风、山风、湖风、睡眠风，并具有启停电子定时控制等功能。带有温度传感器的电脑电风扇，可根据室温的变化，自动完成多档次风速的送风。电风扇正向着智能化，提高送风舒适性的方向发展。

现在世界上主要生产电风扇的国家有美国、日本、中国等。1985年中国生产的电风扇已超过3000万台，产量居世界第一位。

分类 按气流的进入和射出的方向分为离心式、轴流式和横流式。①离心式风扇，其空气由平行于转轴的方向进入，垂直于轴的方向发射出去，如桌上扇、冷风扇和冷热风扇等。因叶片高速旋转时会产生噪声，故此类风扇仅适用于小风量规格的电扇。②轴流式风扇又称螺旋桨式风扇，其空气平行于旋转方向进入，并在平行于轴的方向射出空气流，如台扇、落地扇、台地扇、壁扇、顶扇、吊扇、转页式电扇、排气扇、换气扇等。该类风扇风量较大，是生产量较大的电扇。③横流式风扇，其空气由垂直于轴的方向进入，而垂直于轴的另一方向发射出去，如风幕机等。

按底座的型式可分为固定型、半固定型、摇头型、双摇头型(或回转型)。

电风扇按产品型式分为台扇、台地扇、落地扇、壁扇、顶扇、吊扇、转页扇等。按扇翼直径，台扇、壁扇、

台地扇等有200，300，350，400 mm等规格；落地扇有300，350，400，500，600 mm等规格；吊扇有900，1050，1200，1400，1500，1800 mm等规格。

基本结构 台扇、壁扇、台地扇、落地扇的结构基本相同，主要由电动机(扇头)、网罩(前罩和后罩)、风叶、摇头机构、机座(底座、立柱和连接头)、调速机构(调速器、调速开关)六大部分组成(见图1)。

电风扇电动机有单相交流电动机、直流电动机和交直流两用电动机。单相交流电动机有电容运转电动机和罩极式电动机；罩极式电动机仅用作小规格风扇电动机。在船上和车辆上采用直流和交直流两用串励整流子电动机。

电风扇网罩一般分成前后两部分，要求有足够的机械强度，并要有美观的装饰和造型。

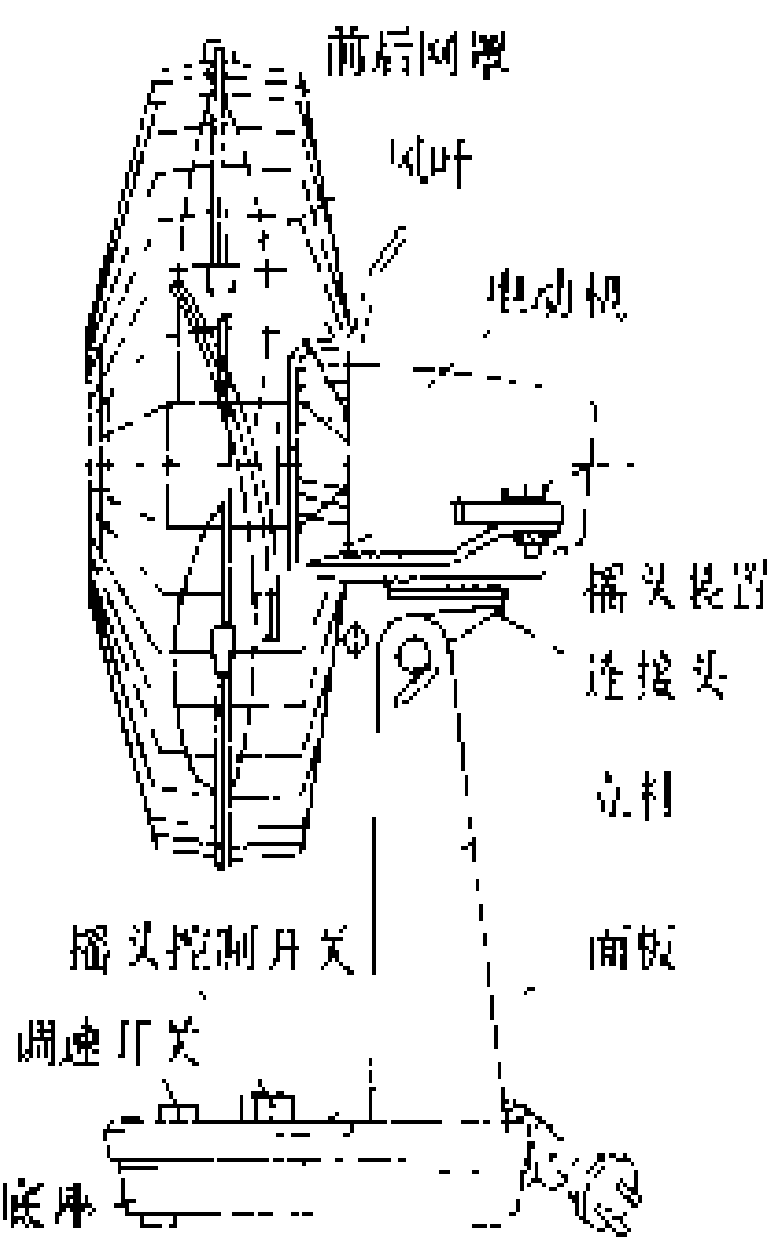


图1 电风扇(台扇)结构

电风扇风叶的叶形主要采用螺旋桨形。风叶多用金属或塑料制成。金属风叶比较坚固，一般用铝板冲压成形。塑料风叶一般采用丙烯腈·苯乙烯树脂(AS)或丙烯腈·丁二烯·苯乙烯树脂(ABS)注塑成形。

摇头机构又称摇摆机构，由减速机构、摇摆连杆和控制机构三部分组成。

吊扇的结构主要由风叶、扇头、吊杆、吊攀和上下罩以及另外独立安装的调速器组成(见图2)。

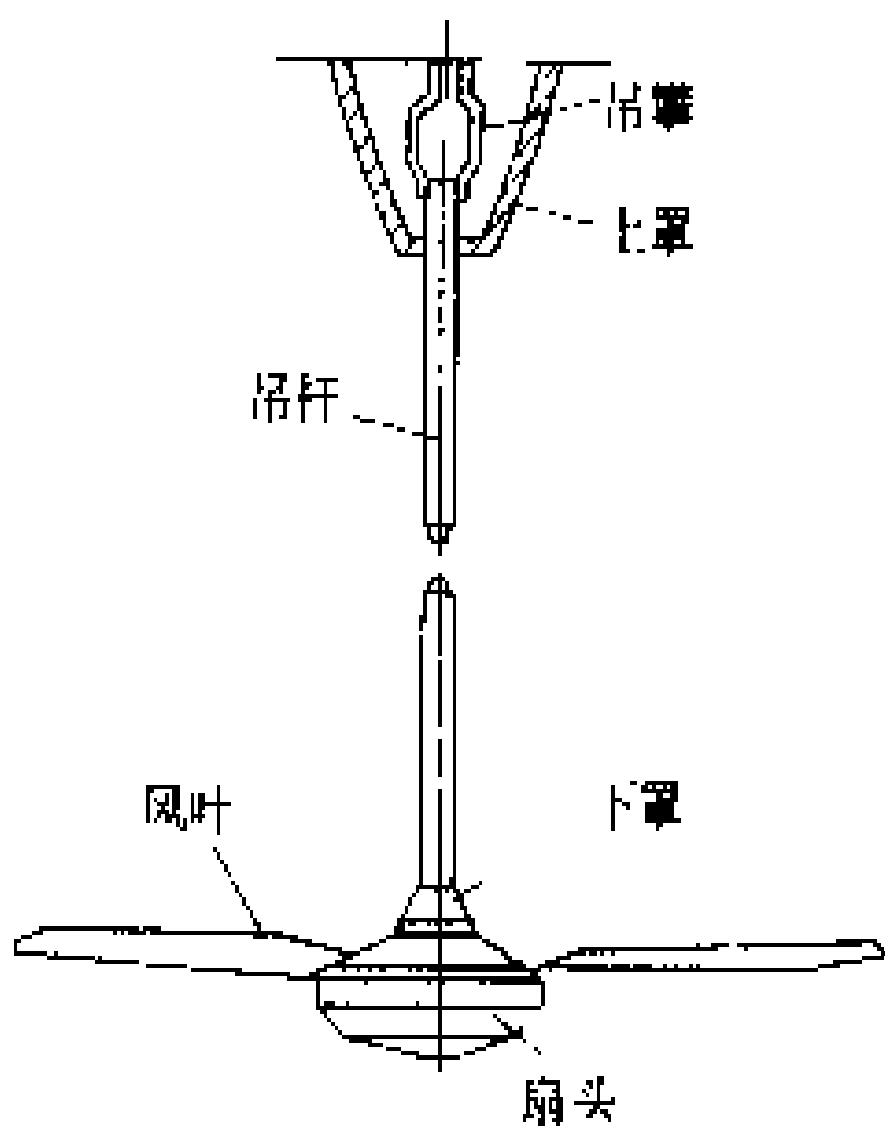


图2 吊扇结构

吊杆、吊攀是悬挂吊扇的重要部件。吊杆常用无缝钢管制成，电动机引线从管内引出。吊扇风叶的叶片多采用1.5~2.0 mm铝板冲压成形，然后用螺钉固定在叶脚上。叶脚应有合理的倾角和足够的刚性，通常是用3~3.5 mm冷轧钢板制成。装饰型吊扇的风叶多数采用

木制的。

转页式电风扇属于轴流式电风扇,1977年在澳大利亚问世。1978年中国广州鸿运家用电器厂首次生产窗型转页式电风扇。

转页式电风扇是由电动机、扇叶、导风轮及壳体等部分组成。扇叶旋转输出的空气量由导风轮改变送风方向,风压较小,犹如自然风。转页式电风扇有窗型(手提式、摺板式、立地式)、升降型、座钟型、雀笼型和多用型多种型式。

调速方法 电风扇的调速方法有电阻法、电抗法、电机抽头法和电子控制法。电阻法和电抗法是分别利用电阻器、电抗器作为降压调速元件,分别串接在直流电动机、交流电动机的电枢回路内,通过电阻器、电抗器的不同抽头与调速开关相连接,以达到调速的目的。电机抽头法是利用电动机的一次绕组或二次绕组的不同抽头与调速开关相连接,以增加定子一次绕组匝数来减少每匝电压伏数或减少一次绕组两端电压来减少每匝电压伏数,以削弱磁场强度,达到调速的目的。电机抽头法有T型、L型、H型数种。电子控制法是控制导通时间来改变电动机回路的端电压,进行调速。

性能指标 主要有风量、输入功率、使用值、调速比、噪声、功率因数等。风量是电风扇在每分钟所送出的空气量,用 m^3/min 表示;输入功率是电风扇在额定条件下运行时,由电源输入到电风扇的功率,以W表示;使用值是电风扇在额定条件下运行,风扇送出的风量除以输入电功率,以 $\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{W})$ 表示;调速比是最低转速与最高转速之比,以%表示;噪声是电风扇在额定条件下运行时,在规定的距离内,噪声的声功率值;功率因数是平均功率对电风扇在额定条件下运行时,电压和电流有效值乘积的比值,用 λ 或 $\cos\varphi$ 表示。

选购 选购电风扇应注意以下几点:

(1) 规格与型式的选择:电风扇的规格很多,根据使用场所、场地的大小和需要风量的大小来选择适当的规格和型式,在住房面积 $12\sim 14\text{ m}^2$ 的房间,可考虑选购350 mm或400 mm的台扇。

(2) 外观质量的检查:外形要美观大方,电镀件表面平整光滑,色泽均匀,无锈蚀斑点、针孔和气泡。扇叶、金属罩不可有挤压变形。控制旋钮和琴键更不能有碰坏和脱落。

(3) 试转:电风扇通电试运转后,检查其调速开关、摇头开关、各类旋钮和琴键是否操作灵活;电动机及扇叶运转是否平稳,风扇的摇头及停摆过程是否平稳敏捷,不得有间歇、停滞或抖动现象;电磁机械噪声以低为佳,一般只能听到轻微的风声,而无机械运动的声音。电风扇从起动至正常运转的时间越短,表示起动性能越好。

使用和维护 电风扇的使用方法较简单,只需接通电源,按压琴键或旋钮即可运转。但从安全角度考虑,应注意以下两点:

(1) 电风扇长时间运行,其电动机发热升温,一般电动机外壳表面温度不应高于 70°C ,即不能有烫手的感觉,以免烧坏电动机。

(2) 在潮湿多雨的地区,一定要使用三相插头,当电动机绝缘降低发生漏电时,因为有可靠接地,便可防止触电事故。

(孙翼谋)

dianguangyuan

电光源 (electric light source) 将电能转换为光的器件。由电能转换为光能的过程不仅和电学及光学有着直接关系,而且还涉及到热物理学、光源材料学、光源化学、电子学、制灯工艺学等多种学科。从电光源的发光原理、特性、发光过程中诸因素对发光的影响到提高发光效能的方法等均属于电光源应研究的范围。它的研究对象既有白炽灯、卤钨灯、荧光灯、高压汞灯、金属卤化物灯、高压钠灯、低压钠灯、氙灯和大量特种电光源等,也有许多新的电光源如紧凑型荧光灯、定向低压卤钨灯、高频荧光灯。研究工作一方面是不不断改进现有电光源的发光、颜色和电气特性,另一方面是不断地开发更多新型的电光源,以满足照明技术、工农业生产、交通运输、国防、科技发展以及娱乐场所和人民生活的需要。

简史 人类在漫长的历史长河中,一直借助火光进行照明。1802年英国科学家H. 戴维(Humphry Davy)开始在实验室研究了白炽发光现象。1877年美国T. A. 爱迪生(Thomas Alva Edison)开始着手研究灯泡,到1879年发明了实用碳丝灯,结束了人类利用火光照明的岁月,步入了使用电光源照明的新时代。

如图1所示,电光源的发展和应用可分为两个时代:从1879年到20世纪30年代为白炽灯的发明、改进和成熟时代;30年代开始为气体放电灯的时代。气体放电灯的发展又经历了低气压、高气压和高效紧凑型气体放电灯三个阶段。

种类 电光源的种类甚多,形状千差万别,分类方法不一,但是按其由电能转化为光能的形式分类,一般可分为热辐射光源、气体放电光源和固体发光光源。热辐射光源是利用电流使灯丝加热到白炽程度而发光的电光源,如白炽灯、卤钨灯等。气体放电光源是利用电流通过气体(或蒸气)而发射光的电光源。这类光源按放电媒质分,有汞灯、钠灯、氙灯、金属卤化物灯等。气体放电光源按放电形式分,有辉光放电灯和弧光放电灯。辉光放电灯由正辉光放电而发光,放电的特点是

阴极的次级发射比热电子发射大得多(冷阴极)、阴极

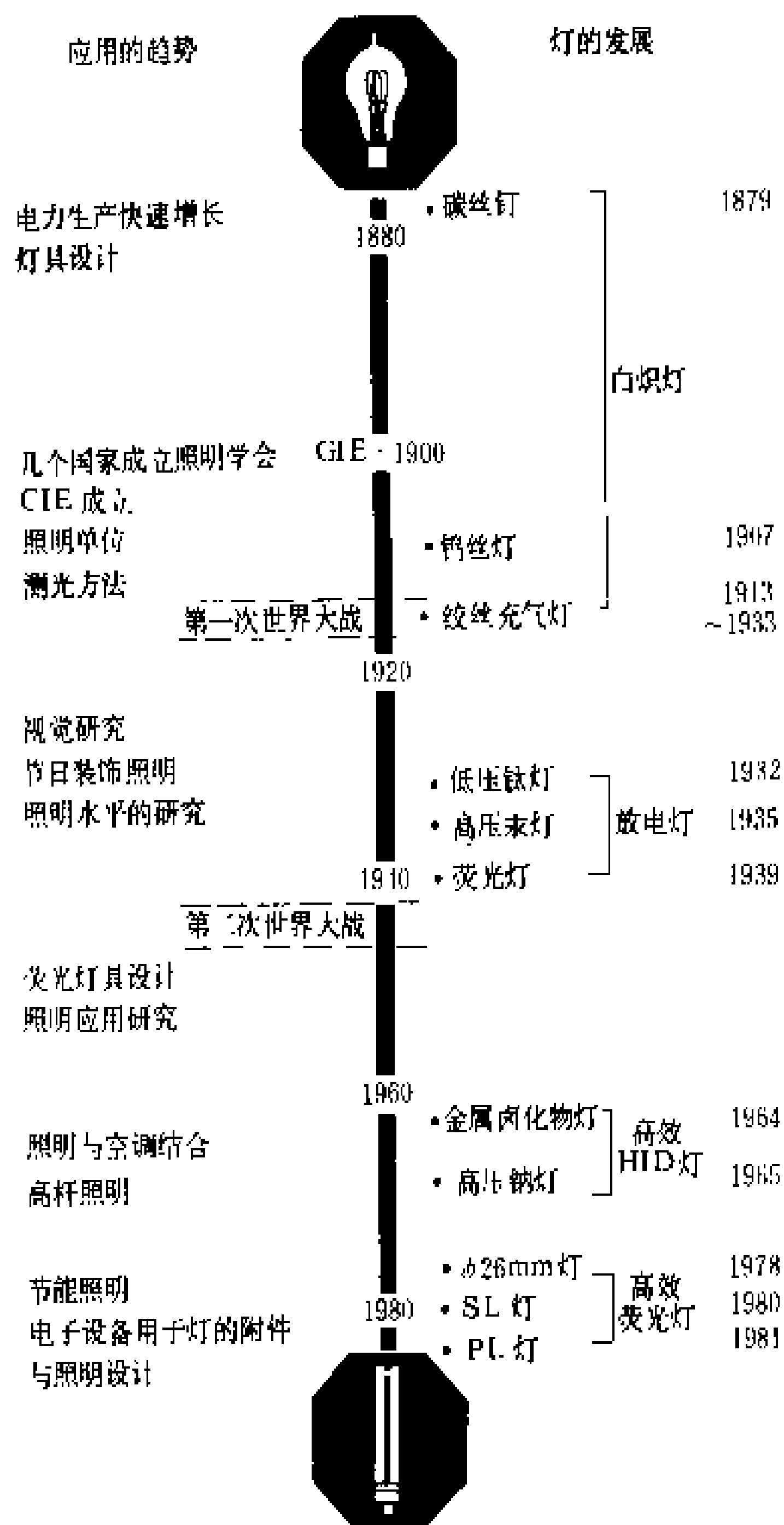


图1 灯的发展与照明应用

压降较大(100 V左右)、电流密度较小,因此,这种灯也称冷阴极灯。霓虹灯则属于这类光源。弧光放电灯是利用正弧光放电而发光,放电的特点是阴极压降较小,需专门的启动和镇流器件配合使用才能工作。荧光灯、汞灯、钠灯、金属卤化物灯等均属于这类光源。人们也常常按充入气体的压力的高低将气体放电灯分为低压、高压和超高压三种。固体发光光源是某种适当物质与电场相互作用而发光的电光源,如场致发光灯和发光二极管属于这类光源。上述光源中热辐射光源和气体放电光源两类为照明电光源,固体发光光源主要用于信号标志或图形显示技术。

技术参数 评价电光源特性的主要技术参数一般是指灯的发光效率、寿命、颜色、亮度、电气参数和外形尺寸等。

(1) 发光效率。系指电光源发出的光通量和它所消耗的电功率之比,单位为lm/W,简称光效。它是评价电光源的首要技术参数。电光源的光效高就是指用少量的电获得更多的光。

(2) 寿命。电光源的寿命通常使用有效寿命和平均寿命两种指标。① 灯的有效寿命:系指从灯开始使用至灯的光通量衰减到初始额定光通量的某一百分比(一般为70%~80%)所经历的点灯时数。② 灯的平均寿命:系指一组试验样灯从点燃到其中50%的灯失效所经历的点灯时数。

(3) 颜色。灯的颜色一般用色表和显色性评价。色表指灯光颜色给人的直观感觉,它的数量指标是色温或相关色温。显色性指灯光的色显示的优劣程度,它的数量指标是显色指数(R_a)。

(4) 平均亮度。灯的发光体的各部位亮度的平均值,用cd/m²表示。

(5) 电特性。灯的电特性一般包括灯的启动和再启动特性,电源电压波动对灯的其他技术参数的影响。表示电特性的技术参数主要有灯的启动电压和工作电流。

(6) 几何形状和尺寸。灯的体积大小,结构是否紧凑将直接影响到它的控光特性和应用。

灯的技术参数和特性是评价电光源质量和合理选用电光源的依据。

展望 电光源诞生100多年来,在技术上的成就是多方面的,归纳起来主要有以下三个方面的成就。

(1) 灯的发光效率。从图2所示电光源光效的演变过程看出,1880年白炽灯的光效只有2.5 lm/W,到20世纪80年代,气体放电灯的光效上升到120 lm/W。曲

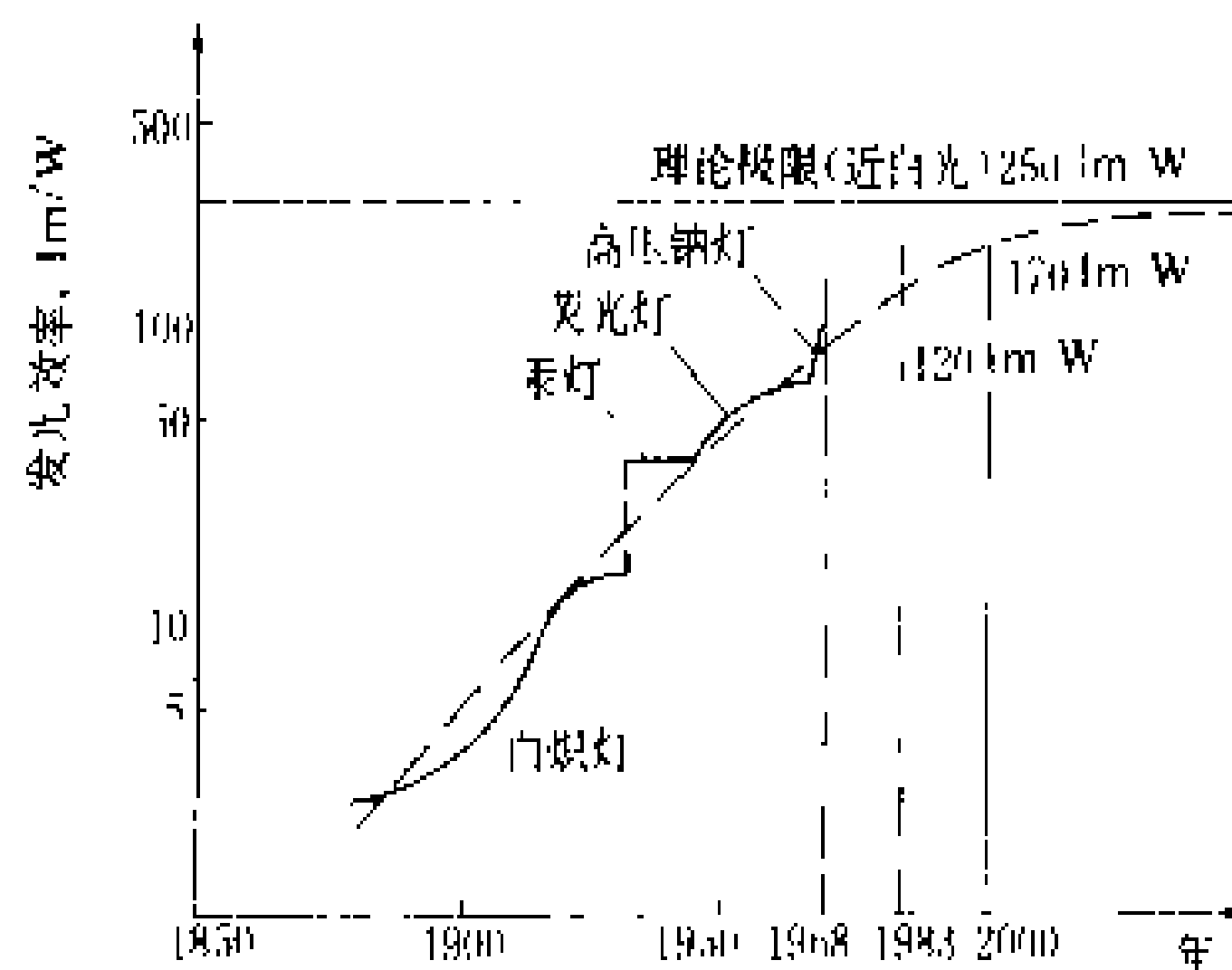


图2 以最大光效的发展史预示未来最大光效的曲线

线的顶端近白光电光源光效的理论极限值为250 lm/W。人们可预测,今后20年,低或中瓦数的普通白炽灯的光效至少可提高5倍;低压荧光灯的光效可超过100 lm/W;150 W和150 W以上的高强度气体放电灯的光效可达125 lm/W;低压钠灯的光效可达200 lm/W。如果用上述电光源代替1/2的旧灯,那么用于同样总光通量的能量消耗可减少25%以上,节能效果显著。因此,开发高效节能光源,提高电光源的发光效

率,是今后电光源发展的重要趋势。

(2) 灯的寿命。爱迪生发明的碳丝灯的寿命,最初只有 400 h。到 20 世纪 80 年代,照明卤钨灯寿命提高到数千小时,部分气体放电灯的寿命已超过 10000 h。高强度气体放电灯和白炽灯比,发光效率高 4~10 倍,但因这类灯的功率一般都比较髙,而且灯的光色也有问题,所以难以在室内照明中推广应用。早期开发的高压汞灯,虽然经改进后光效提高到 60 lm/W,显色指数 R_a 达到了 43,可在对光色要求不高的室内场所使用。高压钠灯的光效高达 150 lm/W,寿命超过 1 万 h。由于它的功率一般都在 150W 以上,而且显色指数 R_a 只有 15~30,所以难以在室内照明中推广应用。金属卤化物灯的显色指数 R_a 达到了 65~92,光效超过 60 lm/W,寿命在 6600 h 以上。20 世纪 70 年代,人们曾认为它是室内照明的一种较理想的光源,然而实践表明,由于灯的功率偏大,光色一致性较差以及寿命期间的色漂移较大而影响了它的推广应用。1991 年 22 届国际照明委员会 (Commission International d'Eclairage 简称 CIE) 大会期间展出的 50 W 和 70 W 金属卤化物灯,光效达 70~80 lm/W,寿命在 5000 h 以上,光色稳定性和一致性好,并为这种光源进入室内照明在结构上作了特殊处理,以确保安全。在同一展览会上展出的高压钠灯的最低功率降低到 35 W,光效在 60 lm/W 以上,寿命超过 15000 h,显色性能明显改善,开始在室内照明中推广应用。预计不久的将来,供室内照明用的低功率和显色性能好的高强度气体放电灯会有更大的发展。

(3) 气体放电灯的控制设备。所有气体放电灯均需配用控制设备,以启动灯的放电和限定灯的电流,不然的话,即便灯已启动,也不可避免地使灯电流不断升高直到将灯烧坏。常用的控制设备有镇流器、启动器和触发器。就镇流器而言,从气体放电灯诞生以来,人们一直使用电感式镇流器。这种传统的电感式镇流器的功率因数低,耗电量大。一支 36W 的荧光灯,与其配套的标准电感式镇流器约需消耗 9 W 电功率。提高这种镇流器的功率因数,降低其功率消耗是人们普遍关心的课题。经数十年的努力,到 1991 年 22 届 CIE 大会期间展出的两种节能型电感式镇流器,其功率消耗已从 9 W 下降到 5 W 和 3.2 W,使这种传统的电感式镇流器性能得到了明显改进。虽然电感式镇流器技术成熟,性能稳定可靠,但它的体积和重量大,需消耗大量的贵重金属材料。随着电子技术的发展,新型的电子镇流器迅速开发成功,并推广应用。电子镇流器将一般供电电源频率变成高频,再通过专门的电路串联后对灯供电。它的优点是体积小,重量轻,无噪声,灯无频闪现象,功率因数可高达 0.9,比电感式镇流器节电 20%

以上,灯的发光效率可提高 10%,并可延长灯的寿命等。今后的发展趋势是继续改进电感式镇流器性能,同时大力推广应用电子镇流器。

综上所述,为提高照明质量,节约能源,以发展节能灯为导向,提高电光源的发光效率和使用寿命,开发和推广应用电子式灯用控制设备,将是今后电光源发展的总趋势。

参考书目

复旦大学电光源实验室编. 电光源原理. 上海:上海人民出版社,1976

唐庆族. 建筑光环境. 北京:清华大学出版社,1988

(肖辉乾)

dianhan

电焊 (electric welding) 利用电能,通过加热或加压,或两者并用,并且用或不用填充材料,使焊件达到原子结合的焊接方法。用于电焊的加工设备叫电焊机。

焊接方法根据焊接时加热和加压情况的不同,通常分熔焊、压焊和钎焊三类。

熔焊是在焊接过程中将焊件接缝处金属加热到熔化状态,一般不加压力而完成焊接的方法。熔焊时,热源将焊件接缝处的金属和必要时添加的填充金属迅速熔化形成熔池,熔池随热源的移动而延伸,冷却后形成焊缝。利用电能的熔焊,根据电加热的方法不同,分为电弧焊、电渣焊、电子束焊和激光焊几种。熔焊的适用面很广,在各种焊接方法中用得最普遍,尤其是其中的电弧焊。

压焊是在加压条件下(加热或不加热)使焊件接缝连接在一起的焊接方法。在压焊过程中一般不加填充金属。压焊根据焊接机理的不同可分为电阻焊、高频焊、扩散焊、摩擦焊、超声波焊等。其中以电阻焊应用最广。多数压焊方法没有熔化过程,没有像熔焊那样有有益合金元素烧损和有害元素浸入焊缝的问题。但压焊的施焊条件苛刻,适用面较窄。

钎焊是用熔点比焊件低的材料(钎料)熔化后粘连焊件,冷却后使焊件接缝连接在一起的焊接方法。

电焊是材料连接加工中的一种经济、适用、技术先进的方法。用电焊几乎可实现任何两种金属材料,以及某些金属材料与非金属材料之间的焊接;可实现以小拼大,制成大型的、经济合理的结构;可以在结构的不同部位采用不同性能的材料,充分发挥各种材料的特点;电焊件具有气密性好、重量轻的特点;用电焊还可实现超薄、超细材料之间的焊接。

电焊是在 19 世纪末随着电力工业的发展而发展起来的。1885 年俄国 H. H. 别纳尔多斯 (H. H.



Бенардос)发现了碳极电弧。1887年美国E. 汤姆森(Elihu Thomson)发明了用于薄板焊接的电阻焊。20世纪初,手弧焊已进入实用阶段。20年代美国制成了自动电弧焊机。1930年美国发明了埋弧焊。40年代和50年代初,钨极和熔化极惰性气体保护焊,以及二氧化碳气体保护焊相继在美国和苏联问世,促进了气体保护电弧焊的应用和发展。1951年苏联发明了电渣焊,成为大厚度焊件的高效焊接方法。50年代中,超声波焊、摩擦焊和扩散焊又相继在美国和苏联问世。50年代末和60年代中出现的等离子弧焊、电子束焊和激光焊标志着高功率密度熔焊的发展,使得许多难以用其他方法焊接的材料和结构得以焊接。现在电焊已广泛用于机械、电子、建筑、船舶、航天、航空、能源等各工业部门中。电焊钢结构件的重量已占世界钢产量的约45%。铝和铝合金的焊接结构的比重也在不断增加。展望未来,一方面是新的电焊方法、电焊设备和电焊用材料将得到进一步开发,焊接工艺性能和焊接质量将提高和改善;另一方面焊接过程的机械化自动化水平将会进一步提高,焊接机器人和焊接机械手将进一步推广。

(钱聚美)

dianhanji

电焊机 (electric welding machine) 利用电能进行材料焊接的加工设备,简称焊机,有时称电焊设备(见电焊)。电焊机主要由焊接电源、焊接装置、控制系统和必要的配套件组成。

多数电焊机有其专用的焊接电源,如电弧焊机的弧焊电源,电阻焊机的阻焊变压器,电子束焊机的高压电源等。少数几种电焊设备直接由低压配电系统供电,如某些钎焊设备、扩散焊设备、摩擦焊机等。

焊接装置有手工、半自动和自动之分。手工装置如手弧焊机的焊钳,钨极惰性气体保护焊机和等离子弧焊机所用的焊炬等,由人工操作;半自动装置,以半自动熔化极气体保护焊机为例,其电极(焊丝)的输送是自动的,而焊枪或焊件的移动则由人工操作;自动焊的电极输送、焊枪或焊件移动全部是自动的。

控制系统用来控制焊接电流、电压和其他焊接参数,使之满足焊接工艺的需要。另外,许多焊机还各有其配套件,如气体保护电弧焊机的供气系统,电子束焊机的真空系统等。

分类 电焊机,除少数按焊接机理分类外,通常按电能转换成热能的方式分类,主要有电弧焊机、电阻焊机、电渣焊机、高频焊机、电子束焊机、激光焊机等。其中最常用的是电弧焊机,其次是电阻焊机。

电弧焊机 利用电弧作为热源的焊机(见电弧

焊),又可分为手弧焊机、埋弧焊机、气体保护弧焊机和等离子弧焊机四种。

(1)手弧焊机(见手弧焊)是用于手工操纵焊条进行焊接的电弧焊机,按电源类别可分弧焊变压器式、直流弧焊发电机式和弧焊整流器式三种。

(2)埋弧焊机(见埋弧焊)是利用在焊剂层下燃烧的电弧进行焊接的电弧焊机,按电极类型可分单丝、双丝和多丝三种。焊丝输送方式有等速送丝和变速送丝两种。

(3)气体保护弧焊机(见气体保护电弧焊)是用外加气体作为电弧介质并保护电弧和焊接区的电弧焊机,按电极和保护气体类别,分为钨极惰性气体保护焊机(简称TIG焊机),熔化极惰性气体保护焊机(简称MIG焊机)和熔化极活性气体保护焊机(简称MAG焊机)三类。后者又有CO₂气体保护焊机和活性混合气体保护焊机两种。按电源类别,可分为交流、直流和脉冲电流三种。

(4)等离子弧焊机(见等离子弧焊)是利用等离子电弧作为热源的电弧焊机,按电流大小可分强流(约30 A以上)和微束两种。

电阻焊机 利用电流通过焊件接头的接触面及邻近区域产生的电阻热,同时施加压力,以进行焊接的电焊机(见电阻焊)。该焊机按接头型式分点焊机、凸焊机、缝焊机和对接焊机四种,按电源类别分工频、电容储能、直流冲击波和次级整流四种。

电渣焊机 利用电流通过焊剂的液态熔渣所产生的电阻热进行焊接的电焊机(见电渣焊),该焊机按结构型式分丝极、板极和熔化嘴三种,按电极数量分单极、双极和多极三种。

高频焊机 利用10~500 kHz高频电流产生的热作为热源的电焊机(见高频焊),按电加热方式分高频电阻焊机和高频感应焊机两种。

电子束焊机 利用经加速和聚焦的电子束轰击焊件所产生的热进行焊接的电焊机(见电子束焊),按焊件所处工作区的真空度分高真空、低真空、局部低真空和非真空四种。

激光焊机 利用经过聚焦的激光照射到焊件上所产生的热进行焊接的电焊机(见激光焊),按激光器输出方式分脉冲式和连续波式两种。

钎焊设备 用来进行钎焊的设备(见钎焊)。多数钎焊是在炉子中进行的,如用电热浴炉、控制气氛电阻炉、真空电阻炉等进行钎焊。用来进行钎焊的炉子统称钎焊炉。

摩擦焊机 利用焊件表面相互摩擦所产生的热使表面达到热塑状态,然后迅速加压以完成焊接的电焊机。该焊机用于钢棒、钢管等和某些异种金属棒材或管



材的对头焊接，按能量输入方式可分为电动机连续驱动式和飞轮惯性式两种。

超声波焊机 利用超声波的高频振荡能对焊件接头进行局部加热和表面清理，然后施加压力实现焊接的一种电焊机。该焊机用于金属 薄膜、细丝和导电性能差的材料的焊接，或要求焊缝热影响区小的焊件的焊接。

扩散焊设备 在真空或保护气氛中把焊件接头紧密贴合并在一定温度和压力下使接触面之间的原子相互扩散以实现焊接的电焊设备。该设备用于不锈钢、高温合金、钛和钛合金等的焊接。

冷压焊机 在不加热情况下对焊件接头进行挤压以实现焊接的电焊机，适用于铝-铝、铜-铜、铝-铜的接头焊接，有设备简单，焊接成本低等优点。

历史和发展 电焊机是随着各种电焊技术的发展而发展起来的。20 世纪初，手弧焊机、电阻点焊机、缝焊机已是实用的加工设备。20 世纪 20 年代初开始有闪光对焊机和自动电弧焊机。30 年代有埋弧电焊机。40 年代开发了钨极和熔化极惰性气体保护焊机。50 年代中电渣焊机、二氧化碳气体保护焊机、电子束焊机、超声波焊机、摩擦焊机、真空扩散焊设备相继问世。60 年代中又开发了激光焊机。现在，电焊机已成为各工业部门不可缺少的加工设备。预期各种焊机的工艺性能和能源利用率将会进一步提高，在要求自动焊接的场合，专用焊机、焊接机械手、焊接机器人将会得到更大程度的推广。

(蒋聪吉)

dianhao ding

电耗定额 (electricity consumption norm)

在特定条件下，生产单位产品或完成单位工作量所规定的消耗电能的合理数量，又称耗电定额。电耗定额在实行计划用电的中国是一项综合性技术经济指标，用于检查是否合理用电，是计算节电成果和确定用电指标的基础。

电耗定额分综合定额和单项定额两大类。综合定额又分全厂综合定额和车间（或分厂、工段）定额；单项定额又分工序定额和工艺定额。全厂综合定额是用电单位向电力分配部门申请用电指标和电力分配部门向用电单位分配用电指标的依据。车间、工艺、工序定额除用以考核该范围内的合理用电外，也可作为制定全厂综合定额的基础。单项定额一般具有横向可比性；由于企业生产的内、外部条件差异，综合定额一般不具有横向可比性。

制订电耗定额的方法有数理统计法、实测法、技术计算法。数理统计法是运用数理统计方法对现有企业的单位产品(产值)耗电统计资料进行整理和分析的基础上，考虑影响定额的诸因素后确定定额的方法。实测法是对实际生产过程所消耗的电量进行现场科学测定以确定定额的方法。技术计算法是根据产品设计和已经形成的生产工艺等条件，经过专门的试验和理论计算，并依据实际生产条件加以修正，从而确定定额的方法。

(顾嘉来)

dianhuan

电弧焊 (electic arc welding) 利用电弧作为热源的熔焊方法，简称弧焊（见电焊、电弧加热）。

焊接时，电弧在焊件的接缝处和电极之间燃烧，焊件接缝处的金属和必要时添加的填充金属受热熔化，形成熔池；电极用手工或机械方法沿焊接方向移动，或

电弧焊的主要种类和用途

名 称		用 途 (适宜于焊接的材料和焊接厚度约值)	适用的焊接位置
手弧焊		碳钢、合金钢、镍及镍合金、铜及铜合金等 (3~20 mm)，铸铁 (76 mm)	各种位置
埋弧焊		碳钢、合金钢、镍及镍合金、铜及铜合金等 (3~20 mm)，铸铁 (76 mm)	平焊位置
气 体 保 护 电 弧 焊	钨极氩弧焊	碳钢、低合金钢、不锈钢、镍及镍合金、镁及镁合金 (1.5~10 mm)，铝及铝合金、铜及铜合金、钛及钛合金 (1.5~20 mm)、难熔金属及其合金 (1.5~3 mm)	各种位置
	熔化极氩弧焊	碳钢、低合金钢、不锈钢、镍及镍合金、铝及铝合金、铜及铜合金、钛及钛合金、镁及镁合金 (2~20 mm)、难熔金属及其合金 (2~6 mm)	各种位置
	二氧化碳保护焊	碳钢和能耐受氧化性气氛和含碳气氛的合金钢 (2~20 mm)	各种位置
	药芯焊丝电弧焊	碳钢、低合金钢、不锈钢等 (3~20 mm)，铸铁 (>6 mm)	以平焊位为主
	气电立焊	碳钢、不锈钢、铝及铝合金 (15~75 mm)	立 焊 位
等离子弧焊		不锈钢、镍及镍合金、钛及钛合金 (0.02~20 mm)、铝及铝合金 (0.02~3 mm)、难熔金属及其合金 (0.02~6 mm)	各种位置



电极固定、焊件移动；熔池冷凝后形成焊缝，把焊件连接在一起。

电极分不熔化电极和熔化电极两种。不熔化电极通常用钨极，用以施焊时，可根据需要另加填充金属。熔化电极在焊接时不仅传导电流，而且其端部不断熔化作为填充金属填在接缝中。熔化电极通常做成焊条和焊丝两种形式。前者多用于手工焊接，后者则多用于自动或半自动焊接。各种金属的焊接各有其适用的焊条或焊丝。电弧焊的主要种类和用途列于表。

电弧焊有电弧温度高、热量集中且容易控制等特点。各种金属材料，包括碳钢、低合金钢、耐热钢、高强度钢、铸铁等钢铁材料，镁、铝、铜、镍、钛等有色金属及其合金，钨、钼、钽、铌等难熔金属及其合金等都可选用适当种类的电弧焊进行焊接。

自 1885 年俄国的 H. H. 别纳尔多斯 (H. H. Бенардос) 发明碳极电极电弧以来，随着药皮焊条的出现，20 世纪初手弧焊进入了实用阶段，30 年代出现了埋弧焊，40 年代出现了氩弧焊，50 年代初出现了二氧化碳气体保护焊，60 年代出现了等离子弧焊。现在，电弧焊已成为各工业部门中最主要的焊接方法。随着电子技术、控制技术和新材料的发展，电弧焊设备、焊接用材料、焊接工艺以及设备的机械化自动化方面预期将会有更大发展。

参考书目

薛迪甘，焊接概论，北京：机械工业出版社，1979

(昂桂兰)

dianhu jia re

电弧加热 (electric arc heating) 利用电弧放电产生的热能对物料进行电加热的方法。电弧放电是气体自持放电的一种形式，在由低（负）压到高压的不同压力气体下和不同的气氛中都能发生。电弧放电时，电流大而电压降落小，产生强烈的弧光和热。

通常认为电弧由阴极电压降区、弧柱、阳极电压降区三个区域组成，而其中弧柱部分几乎占据了电弧的整个长度，弧柱中正负带电粒子所带的电荷数相等，所以在宏观上呈中性（见等离子加热）。电弧有很高的能量密度，在有限的空间内可发出数以百万瓦计的功率，有高达数千摄氏度以上的温度。

供电加热用的电弧具有以下特征：①阴极端头要有极高温度（通常由正离子撞击所致）和（或）在其附近有足够高的电场强度，以便从阴极发射电子；②气体电离的主要原因是从阴极发射并受到电场加速的电子与气体分子或原子碰撞的结果，其次是由于电弧本身有极高的温度；③由于电弧中有强大的电子流，因此两电极间的空间具有很高的导电率，在电压不很高

的情况下，每平方厘米断面有数百到数千安电流通过。

输入给电弧的功率高于电弧电压和电弧电流的乘积，用来使气体电离和使正离子和电子加速。供电加热用的电弧热来源于正离子和电子复合成分子或原子时释放出的能量，以及由正离子和电子撞击电极所产生的热量。在电路中电弧可以看作是一个电阻，其值等于电弧电压与电弧电流的商，但不是常数。

特点 电弧加热一般具有以下特点：①热量集中，温度高达 3000~7500℃；②用不太复杂的设备能集中提供几万甚至十几万千瓦的巨大加热功率；③功率控制较方便；④能用于空气、真空或其他气体中。因此，在众多的电加热方法中，电弧加热是应用最广的方法之一。

分类 按加热方式分间接电弧加热、直接电弧加热和埋弧加热三类。间接电弧加热时，电弧发生在两根相同的电极棒之间，物料受到电弧热的辐射加热。这种加热方法热效率低，现已很少采用。直接电弧加热时，电弧发生在电极和被加热物料之间，电弧电流流经物料，大部分电弧热可被物料吸收，热效率高。埋弧加热时，电弧端头埋在颗粒或粉末状物料内部，物料除受到电弧的直接加热外，还受到电弧电流流经物料所产生的电阻热，包括物料粒子间的接触电阻热的加热。这种加热方法的热效率最高，但只适用于特定的物料。

按电源性质，电弧加热分交流电弧加热和直流电弧加热两种。交流电弧加热由供电网通过变压器供电，有设备简单、价格低、使用方便等优点和电弧稳定性差、用电功率因数低、线路损耗大、噪声大和对电力系统干扰大等缺点。直流电弧加热在这些方面优于交流电弧加热，但需要通过整流器供电，设备价格较高。20 世纪 90 年代以交流电弧加热用得较普遍，随着电子件和设备的发展，预期直流电弧加热的应用将会迅速扩大。

应用和设备 电弧加热主要用于冶金、化学和机械等工业部门。在冶金和化学工业中主要用于炼钢（见炼钢电弧炉、钢包精炼炉），炼铁合金、冰铜、黄磷、电石等（见埋弧炉），熔炼钨、钼、钽、铌、钛、锆等难熔金属和活泼金属（见真空电弧炉）等。在机械工业中用于焊接（见电弧焊），以及碳弧气刨和电弧切割等。碳弧气刨和电弧切割与手弧焊类似，但要用碳棒作电极，工作时对熔化区吹压缩空气以除去熔化的金属，实现对金属的刨削或切割。

(胡叔良 蒋聪吉)

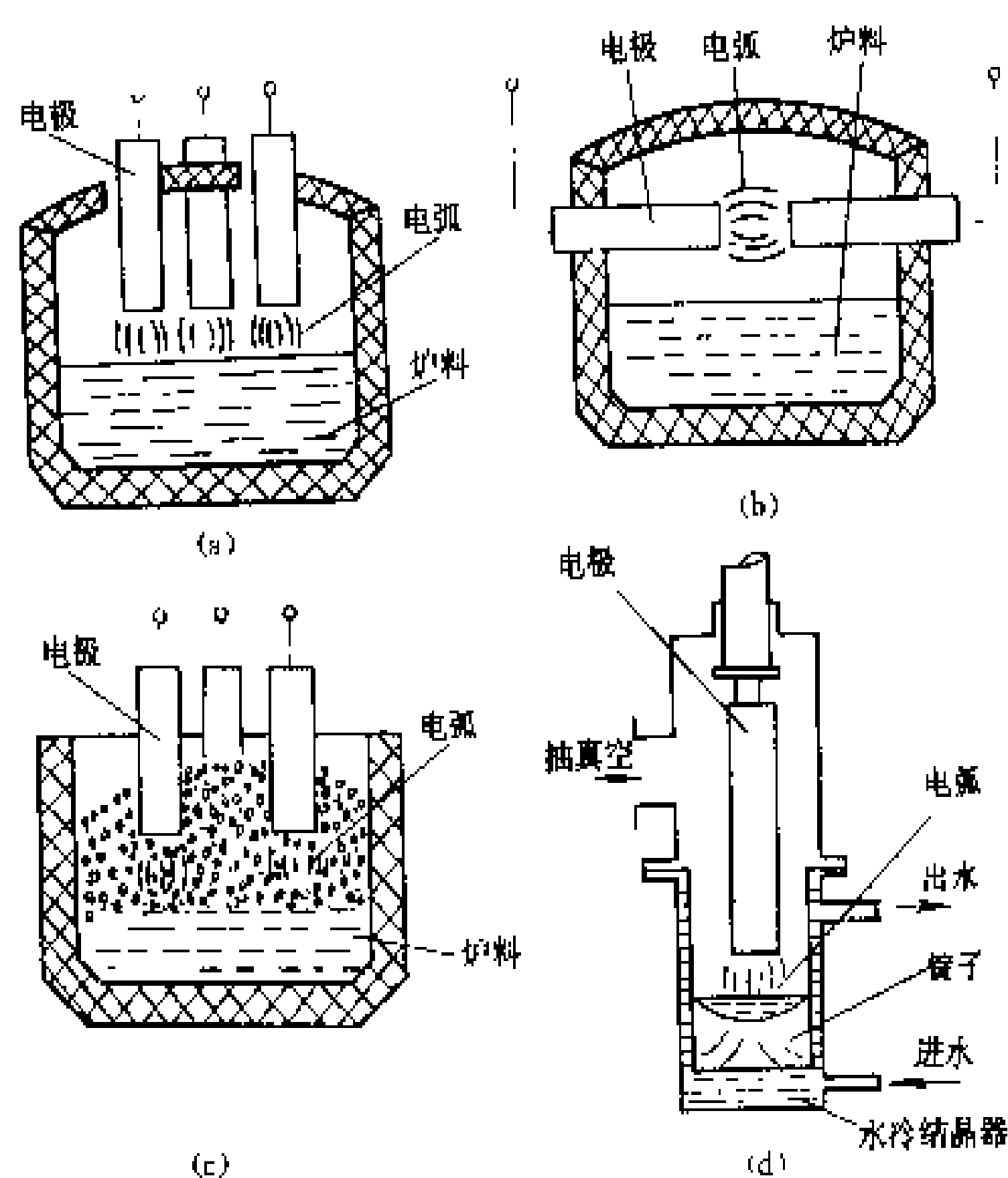
dianhulu

电弧炉 (arc furnace) 利用电弧加热的电



炉。电弧加热具有温度高、热量集中，而且可在不同气氛和不同气压下进行加热的特点，所以电弧炉适合于物料的熔化和冶炼。

按电弧加热方式的不同，电弧炉分为四类：①直接电弧炉。在这类电弧炉中，电弧发生在专用的电极棒和被熔化的（或熔化了）的炉料之间，炉料受到电弧的直接加热。这类电弧炉主要用于炼钢、精炼铁合金、熔铸耐火材料等，见图（a）。②间接电弧炉。在这类电弧炉中，电弧发生在两根专用的电极棒（一般是石墨电极）之间，而炉料只受到电弧辐射的间接加热，这类电弧炉曾多用于铜及铜合金的熔化，因为运行时噪声大，工作条件差，现已被感应炉替代，见图（b）。③埋弧炉。在这类电弧炉中，电弧发生在埋入到炉料内的电极前端与被熔化的（或已熔化的）炉料之间，在电弧加热的同时有一部分热量是因电流通过炉料，由炉料的电阻而产生，所以又叫电弧电阻炉。这类电弧炉在其熔化区可以获得强还原性气氛，主要用于还原矿石，生产铁合金、冰铜、化工产品等，所以也叫矿热炉，见图（c）。④真空电弧炉。它是一种直接电弧炉，在真空中电弧熔化钛、钼等难熔金属和活泼金属、精炼合金钢等，电极一般是由被熔化的金属制成，在水冷结晶器内形成铸锭，见图（d）。



几种工业用电弧炉示意图

（a）直接电弧炉；（b）间接电弧炉；（c）埋弧炉；（d）真空电弧炉（直接电弧炉的一种）

见炼钢电弧炉；钢包精炼炉；真空电弧炉；埋弧炉；短网；电炉变压器；电弧炉电极自动调节器。

（蒋聪吉）

dianhulu dianji

电弧炉电极 (electrode of arc furnace)

电弧炉的导电零件。其一端接于电源，在另一端与炉料或另一电极间产生电弧。

电弧炉电极按原料分两大类：一类是用碳素原料制成的碳素电极、石墨电极和自焙电极；另一类是用金属材料制成的自耗电极、钨电极和水冷铜电极。在工业上普遍应用的有三种电极：石墨电极主要用于炼钢电弧炉，自焙电极用于埋弧炉，自耗电极用于真空电弧炉和电渣重熔炉。钨电极用于非自耗真空电弧炉，水冷铜电极在实验室中使用。这两种电极在工业上很少用。

碳素电极和石墨电极 碳素电极是以无烟煤和焦炭为原料，以沥青为粘接剂，混合后挤压或模压成形，在焙烧炉内，经 1000~1250℃ 温度焙烧成坯，然后加工到规定尺寸而成。为了提高产品性能也有把经约 1000℃ 温度焙烧后的坯件用沥青浸渍，再在约 700℃ 温度下二次焙烧，焙烧后再进行加工，制成碳素电极。

碳素电极的形状大多数为圆柱形，最大直径可达 1200 mm；也有做成长条形，用以拼接成正方或长方形电极束（这样的电极曾用于制造电石或电熔刚玉的埋弧炉中）。碳素电极在电弧炉中已较少使用，但采用同样工艺制成的其他碳素制品，如用于炼铝的碳素阳极，用于高炉和埋弧炉的碳砖等仍用得普遍。

石墨电极的原料以石油焦为主，前期制造工序与碳素电极一样，但经约 1000℃ 温度焙烧后的坯件要在石墨化电炉（见直接电阻加热设备）中再次加热到约 2000~3000℃，使电极中碳原子重新排列形成石墨结构的晶体，制成的电极坯再经机械加工制成。与碳素电极比，石墨电极导电率高、抗氧化性好、线胀系数小、热震稳定性好、质地软易加工，因此在电弧炉中用得广。

石墨电极呈圆柱形，其直径系列在国际上已标准化，即 75, 100, 130, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600 mm。长度在 1000~2400 mm 范围内，直径愈大，长度愈长。电极两端都有圆柱形或锥形内螺纹孔，可用有外螺纹的石墨接头把两根同直径的电极连接在一起，以便于连续使用。

随着高功率和超高功率电弧炉的发展，石墨电极分成普通功率用和高功率用两类。后者的体积密度和机械强度较前者大，电阻率较前者小。两类电极的允许电流密度分别为 14~25 A/cm² 和 25~30 A/cm²。

碳素电极和石墨电极在室温下的性能（参考值）见表。

自焙电极 这种电极由挪威 C. W. 索德伯克 (C. W. Soderberg) 于 1909 年发明。因为是利用电弧炉自身的热能在炉子上焙烧而成的，所以叫自焙电极。

碳素电极和石墨电极的主要性能

性 能	碳素电极	石墨电极	
		普通功率	高功率
体积密度 (g/cm³)	~1.55	1.56~1.59	1.62~1.60
电阻率 (10 ⁻⁴ Ω·cm)	21~50	6.5~8.5	5.5~7.5
线胀系数 (10 ⁻⁶ /K)	3~38	2.2~3.0	2.0~2.3
热导率 [W/(m·K)]	7~30	120~190	120~190
抗压强度 (MPa)	20~22	>18	>23
抗弯强度 (MPa)	~6	8.0~9.5	11.0~13.5
抗拉强度 (MPa)	~2.5	4.5~6.0	6.0~7.0
弹性模量 (GPa)	5~15	5.5~6.5	7.0~9.5
含灰量 (%)	0.8~5	<0.5	<0.3

这种电极呈圆柱形，外侧是一层约1~2 mm厚的钢板外壳—电极筒。制造电极用的碳素原料与制造碳素电极用的类似，但加有较多的粘接剂，使电极料在热态下成糊状，称电极糊。焙制程序大致是：①用钢板焊成电极筒，把电极筒下端用钢板焊封；②用炉子上方的电极夹持装置把电极筒固定在适当的位置上；③加炉料（呈颗粒状）入炉，使电极筒端头埋在炉料内；④向电极筒内加电极糊；⑤通过导电夹头，对电极和炉料送低压电，使电极下部料由于电极中和炉料中产生的电阻热和电弧热（见电阻加热和电弧加热）逐渐焦化烧结而成固态；⑥加大电流使下端钢板熔化，电极下端直接与炉料接触，至此电炉可投入正常运行；⑦随着电极下端的消耗，利用电极上方的压放装置定期把电极向下移动一段距离；⑧在原来的电极筒上方再焊接一段新的电极筒，重加入新的电极糊。这样周而复始连续焙制出自焙电极。在正常运行中，自焙电极大体上可分成四部分，由上而下依次是电极糊部分，塑性料部分，局部焦化部分和烧成部分。这种电极因可连续焙制，且直径可很大（最大约2 m），在埋弧炉中得到广泛应用。

自焙电极的电阻率约 $16 \times 10^{-4} \sim 70 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ ，允许电流密度约 $5 \sim 6 \text{ A/cm}^2$ 。

自耗电电极 这种电极由被熔炼金属本身制成，在使用过程中电极下端不断熔化消耗，在炉内水冷结晶器中冷凝成铸锭。在这一过程中金属得到精炼。

供合金钢重熔用的自耗电电极是用由炼钢电弧炉、真空感应炉等熔炼的钢液浇铸成的，必要时还要经焊接、锻造和机械加工。供钛、锆、钼、钽、铌等活泼金属和难熔金属重熔用的自耗电电极是用焊接法或等静压法制成的。所用原料有粉末状料、海绵状颗粒料、板状或棒状的废料等。粉末料或颗粒料可先用模压机压成块，然后在惰性气体保护下焊接成电极；板状或棒状废料可直接焊接。粉末料也可用等静压装置在约50 MPa压

力下压制成电极，必要时再经焊接。

（邓廷佐 蒋聪吉）

dianhulu dianji zidong tiaojieqi

电弧炉电极自动调节器 (electrode automatic regulator of arc furnace) 用来自动控制电弧炉电极的升降，从而调节炉子输入功率的装置，又称电弧炉功率自动调节器。

为了满足冶炼工艺或生产管理要求，在电弧炉的不同工艺阶段要设定相应的电流和电压参数，也就是设定了电弧炉的阻抗，即所谓“工作点”，由此确定了电弧炉的输入功率。工作点可以是手动设定，或按特定的冶炼工艺和生产管理要求自动或程序设定。在电炉变压器输出电压已定的情况下，由于炉料的熔化、炉料与电极接触情况的改变，炉内冶金反应和电磁力等的影响，炉内阻抗会经常变化，电流和输入功率也随之改变。电极自动调节器就是用来及时检测出这种变化，并自动调节电极的位置，使炉内阻抗保持在设定的工作点附近的装置。它是电弧炉的重要组成部分，对保证炉子正常运行、提高生产率、降低电耗等起重要作用。

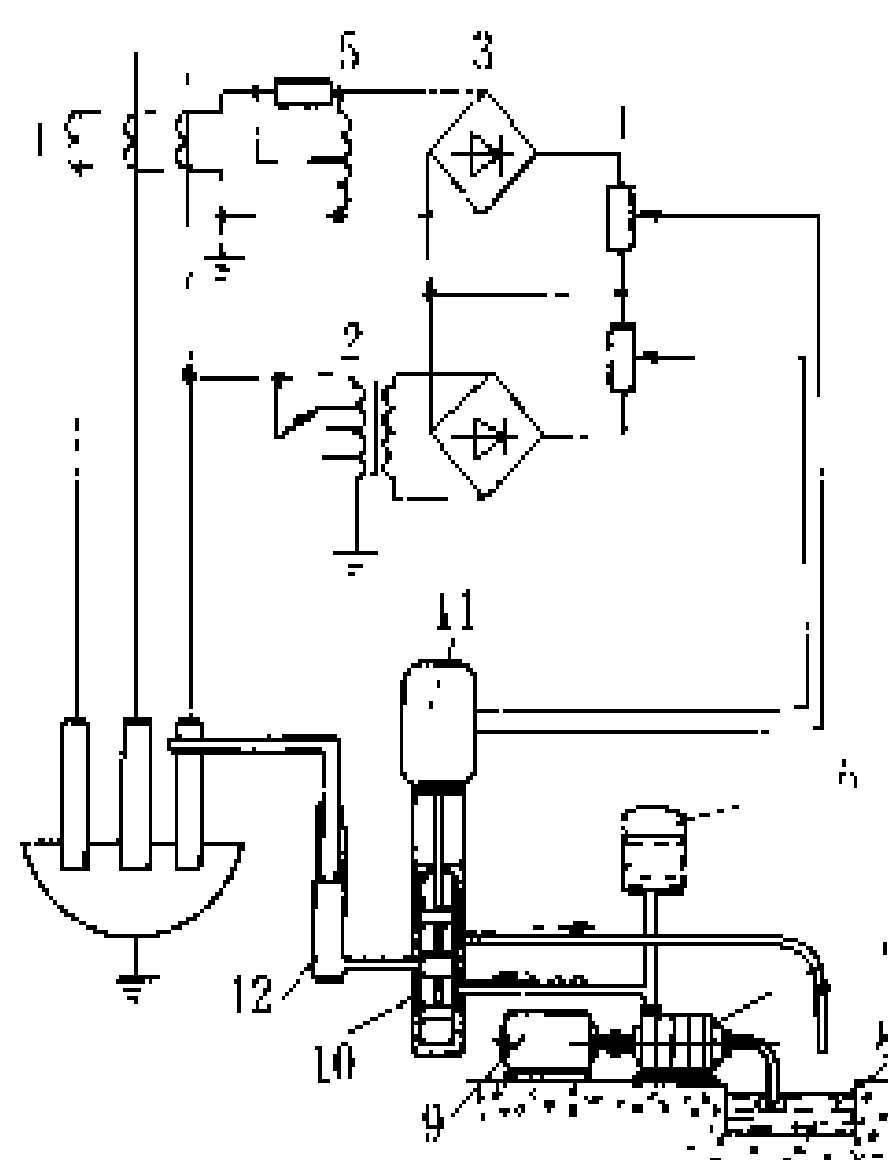
电弧炉电极自动调节器由信号检测、比较、综合、放大、反馈等环节和执行环节——电极升降机构组成。三相炉的每相电极各有其调节器，独立工作。由于三相交流炼钢电弧炉、直流炼钢电弧炉、埋弧炉、真空自耗电弧炉等各类电弧炉工艺特点不同，其调节器各有特点。

三相交流炼钢电弧炉用调节器 炼钢电弧炉在工作中，特别是在熔化期，由于炉料的熔化和崩塌，炉料与电极的接触短路等原因，炉内阻抗（即电弧阻抗）变化剧烈，因此要求调节器反应灵敏，电极升降速度快。这类调节器多以电弧阻抗为调节参数，通过电极升降改变电弧长度以保持电弧阻抗在设定点上。为了检测电弧阻抗的变化，分别用电压互感器和电流互感器检测出电弧电压和电弧电流信号（由于测量真实的电弧电压有困难，通常把大电流线路与地之间的电压作为电弧电压）。这两个信号分别经整流和滤波产生两个直流电压信号进入比较环节。当炉子工作在设定的工作点时，电弧电流信号和电弧电压信号相等，比较环节输出为零，电极升降机构不动作。当工作点偏离设定值时，两个信号不相等，比较环节输出一个表示两信号差值的直流信号。该信号经放大后输出到执行环节。偏差信号的极性决定电极的升或降，而其大小则决定电极的升降速度。执行环节最终输出的是速度对时间的乘积，即电极或升或降的距离。由于电源电压波动的影响，这种阻抗调节器中还引入功率设定值，并可按功率设定值与实际值的偏差自动调节阻抗设定值或炉用变压器的输出电压级。

$$2\Delta = \frac{I_s - I_l}{I_N} \times 100\%$$

(1) 电动式调节器。由于从电动机转子到电极可动部分的惯性和传动机构摩擦等因素, 电动式调节器响应时间较长。为缩短响应时间应采用特殊结构的电动机。如过去曾用电磁转差离合器, 现在则多用长转子或空心转子电动机等。这样, 响应时间可不超过 300 ms。调节方式根据电动机的种类分直流式和交流式两类。以前, 直流式调节器曾广泛采用电机放大机和直流分励电动机以及后来的由晶闸管控制的直流电动机等。这种直流调节方式响应速度慢, 而且系统的维护比较复杂。随着调节器件和技术的发展, 现在主要采用感应电动机的交流式调节器, 其中有代表性的是由晶闸管控制绕线转子感应电动机的交流式调节器 (图 1)。输入到放大器的偏差信号的极性决定电动机的正转或反转, 而偏差信号的大小则改变晶闸管的触发滞后, 从而改变加在电动机上的电压, 以控制转速。另一种交流式调节器的交流电动机有两个绕组, 分别由两组晶闸管控制, 用于转子的正转和反转, 以实现可逆传动。其优点是线路简单可靠, 缺点是定子多一套绕组。还有一种方式是采用一个方向转动的笼型感应电动机, 而用电磁转差离合器把传动力矩传给电极升降机构。没有信号时, 电极靠自重下降, 有信号时, 电极可上升。根据信号的大小, 电磁耦合力发生变化, 以此来控制电极升降速度。这种方式可消除电动机转子惯性力矩的影响,

用电动卷扬机式,大型炉则采用液压式。采用的控制方



1—电流互感器；2—电压互感器；
3—整流器；4—平衡臂；5—自耦调
压器；6—蓄能器；7—液压泵；8—
储液箱；9—电动机；10—伺服阀；
11—伺服阀线圈；12—电极升
降液压缸

式与炼钢电弧炉的类似,但也广泛采用更为简单的、有触点或无触点继电器配以开关元件的控制方式。

真空自耗电弧炉用调节器 真空自耗电弧炉(见真空电弧炉)用直流供电,工作中炉况稳定。当这种电弧炉的电极与水冷铜坩埚之间产生边弧时,有可能击穿坩埚,冷却水进入熔池,可能会引起爆炸事故。熔炼时电弧长度短,自耗电电极的上下调节距离小。鉴于上述两个原因,过去曾用控制电弧电压的方法控制电极的升降。但因为检测到的电弧电压信号不准确,这种方法调节效果不好。现在普遍用脉冲式调节器,它是根据金属熔滴通过电弧等离子区时所引起的电压波动脉冲次数和短路脉冲的幅度来控制电极的升降。这种系统使控制精度、产品合格率和熔炼安全性都大幅度提高。

(颜竹芳 蒋聪吉)

dianhua dangliang

电化当量 (electrochemical equivalent)

电解过程中,每通入 1 C,即 1 A·s 的电量,在阴极上析出的物质的克数。例如,银的电化当量为 0.00111800 g。由电解液中析出 1 克的任何物质,或 1 克的任何物质转入电解液需要相同的电量 96490 C,即 1 F。按照这一关系,可以计算出通过一定电量时,在阴极上析出的物质的量。

(马荫华)

dianhuaxue

电化学 (electrochemistry)

研究化学能与电能之间相互直接转换的科学。化学能直接转换为电能的体系称为成流体系,电能直接转换为化学能的体系称为电解体系,统称电化学体系。电化学体系是由电子导体(通常为金属)和离子导体(通常为酸、碱、盐的水溶液或其他电解质)构成的,其电化式可写成:电子导体|离子导体|电子导体,或电极|电解质|电极。式中“|”代表电极。一个电化学体系至少含有一个离子导体(电解质)及与其相接触的两个电子导体(电极),化学能和电能的相互直接转换就发生在电子导体和离子导体相接触的界面上。电化学体系,在外电路接通后,其电解质中的正、负离子分别移向不同极性的电极。在一个电极上接受电子变成中性原子或分子的反应,是还原反应;在另一电极上释放电子变成离子的反应,是氧化反应;总反应为氧化-还原反应。通过这些反应,释放或消耗直流电能。电化学体系普遍存在于自然界及人类的生活、生产和科学实验领域中。20 世纪 50 年代,对经典的电化学理论有了根本性的突破。现代观点认为,电化学可以分成两大部分,即离子学(又

称电解质学)及电极学。前者研究电解质本身的静、动态性质,后者研究电极特性,主要是电极与电解质界面的特性。电化学不是一门专门化学学科,它研究的是学科间的领域,如化学、材料科学、力能学、生物学、工程学等学科中所出现的荷电界面的行为。电化学和其他学科的相互渗透,逐步形成量子电化学、固体电化学、光电化学、化学电化学、生物电化学、环境保护电化学等新的边缘学科。

发展简史 18 世纪 80 年代,意大利 A. L. 伽伐尼(Aloisioo Luigi Galvani)发现自然界中存在有电流。1800 年,意大利 A. 伏打(Alessandro Volta)发明了可实用的电池。电池的发明早于直流发电机的发明(1870 年),它不仅开创了电化学的历史,也开创了电磁学的历史。同年,电解水成功。1807 年,用电解法发现金属钾与钠。1833 年,英国 M. 法拉第(Michael Faraday)制订了一套电化学新名词,提出“电极”、“离子”、“电解”、“电解质”等概念,以及著名的关于电化当量的法拉第电解定律。1887 年,S. A. 阿伦纽斯(Svante August Arrhenius)提出电解质稀溶液的电离理论。这些学说奠定了电化学的理论基础,也为其在工业上的应用开辟了广阔的道路。

电化学主要领域 在日常生活和工业生产,如电池、电解、金属的腐蚀、环境净化、电生物物理学等都存在着电化学。

电池 由阴极、阳极和电解质组成的电化学成流体系。其电化式可写成

(-) 阴极活性物质|电解质|阳极活性物质 (+)

电池放电时,在阴极与电解质接触的界面上发生氧化反应,在阳极与电解质接触的界面上发生还原反应,化学能转变为电能,形成直流电流。对于可充电的电池,如蓄电池,充电即注入电能时,其电极反应和放电时的电极反应正好相反,在阴极有还原反应,在阳极有氧化反应,将注入的电能以化学能的形式贮存于阴、阳极活性物质中。改变构成阴极、阳极、电解质三者的物质,可以构成不同种类的电池系列,从而形成各种不同的独立电源,以适应民用、照明、交通运输、电信、工业、航空、航天、海洋开发、军工等领域的需要。电化学电源工业已成为十分重要的工业体系。(见化学电源)

电解 由阳极、阴极及电解质组成的将电能直接转化为化学能的体系,即:阳极|电解质|阴极。以电解精炼为例,阳极为含有杂质的金属板,阴极通常为阳极金属的电解精炼金属板,电解质为阳极金属盐的水溶液。将直流电能注入此电解体系时,阳极金属失去电子,成为金属离子溶解于电解液中,此过程是氧化反应。在阴极,电解液中的阳极金属离子从阴极获得电子而还原成金属原子,沉积在阴极上,此过程是还原反

净化到所需要的程度。

至下一个电渗析槽

净化水

至下一个电渗析槽

阳离子不能通过

阴离子不能通过

阳极

阴极

阴离子膜 (阳离子透不过)

废水

阳离子膜 (阴离子透不过)

阳极电解液

阴极电解液

图 1 电渗析法除去废水中的带电粒子

将神经细胞中的粗神经轴突置于相当于体液的盐水中，可以测得细胞膜内、外之间相对稳定的电位差（静止电位）。当有外部扰动时，可测得电位的瞬间变化（动作电位）。有几种神经细胞对光、压力、温度等很敏感，其动作电位改变时，能测出其尖峰信号沿轴突的移动。在受扰动的膜和在正常状态的膜之间出现电位差，引起电化学局部电池作用并出现电流。这种电流通过神经传导是人体神经细胞向大脑传输信息的基本

[illegible]

图 2 电化学的应用及发展

机理。

食物被“消化”转化为简单的有机分子（如葡萄糖），通过血液循环体系送进生物燃料电池。生物化学家已经能够检测出这一转化过程中各个中间阶段的各种大量分子，一直到氧化阶段生成的二氧化碳。所有这些反应都是氧化-还原型，基本步骤是电子或电荷的传递。对这些反应的深入研究，将有助于解决诸如癌症的起因、“生命”的本质、生长的机理、药物的作用等问题。

电化学在工业上的应用 电解氯化钠产出氯与氢的工业是化学工业的基础工业之一。用电解方法提取、精炼金属是冶金工业的基本手段之一。电镀对增加物件外观光泽和防腐蚀都有重要作用。利用电镀方法所形成的与模型一样的复制件，可用于外形不规整而又有严格要求的铸造，即电铸。以金属零件作阳极，在一定条件下电解，可以得到光亮的表面，即电抛光。电解加工是利用阳极溶解改变制品表面形状和尺寸的一种加工方法，常用于加工异形硬质合金零件。在活泼金属如铝的表面，用阳极氧化的方法形成一层牢固的氧化膜，能保护金属不受腐蚀。金属的锈蚀是最普遍的电化学过程。阴、阳极保护是金属防锈的重要措施之一。应用电池原理发展起来的化学电源工业，产品种类繁多，应用范围极广。（见电化学工业）

电化学的发展及其应用已经为人类社会的物质生活、生产、科学研究带来不可估量的影响，而且将成为未来能量供应、材料的稳定、材料的再生与合成、医学及药物学等的重要环节。电化学的应用及其发展见图2。

参考书目

沈慕昭，电化学基本原理及其应用，北京：北京师范大学出版社，1981

J. O. M. 博克里斯等著，电化学科学，夏熙译，北京：人民教育出版社，1980

（J. O. M. Brockris, D. M. Drazic, Electrochemical Science, Tayer & Francis, 1972）

（杨启元）

dianhuaxue fanghu

电化学防护 (electrochemistry protection)

改变被保护金属的电极电位（见电极势），使其极化或成为不溶解的阴极，以防止金属腐蚀的方法。电化学防护有阴极保护、阳极保护和缓蚀剂保护等三种防护方法。

除电化学防护外，还有物理防护如镀层防护、涂层防护等防腐手段。

阴极保护 当腐蚀原电池（见电化学腐蚀）的两极之间有电位差，并有电解质溶液存在于两极之间时，两极上即发生还原或氧化（腐蚀）反应。因此，采取措施，

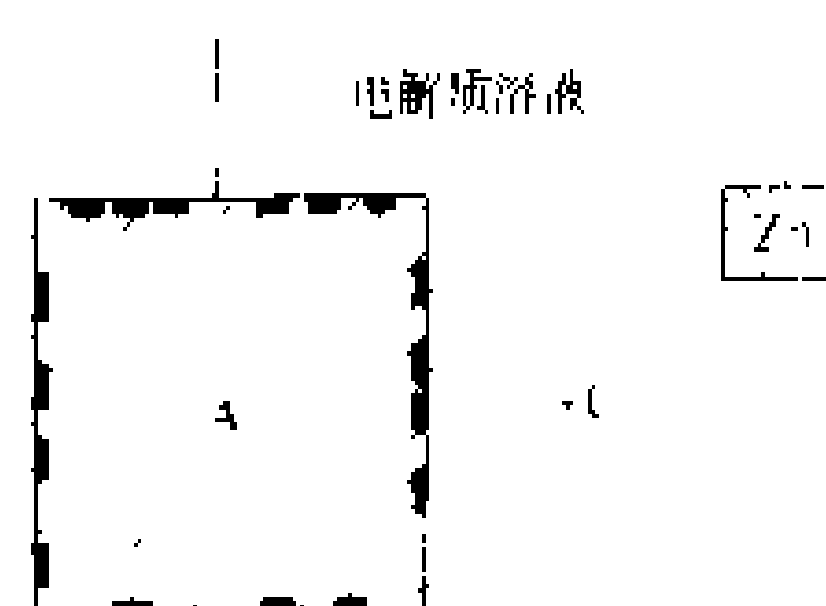
使电极极化，以减少或消除腐蚀原电池的电极电位差，就可以抑制或减缓金属被腐蚀的过程。

阴极保护的应用范围很广，可防护在导电介质中工作的金属器件，如地下管道、地下金属设备、水槽、海水中的设备和船舶等，常与涂料并用，以减少输入电流。

有两种阴极保护法，即牺牲阳极法和外加电流法。

（1）牺牲阳极法。在腐蚀原电池的阳极，即被保护金属上，连接一块电极电位更负的金属，可以防止被保护金属的腐蚀。例如，在图所示的钢铁结构中，有金属杂质 C（阴极）和被保护金属 A（阳极）组成的腐蚀原电池。在钢铁结构上

连接金属 Zn，形成新的电池，其中 Zn 的电极电位较 A 的电极电位更负，为阳极，A 成为阴极。电子从 Zn 流向 A，又从 A 流向 C，使 C 的电极电



牺牲阳极法阴极保护示意图

产生阴极极化，使 C-A 腐蚀原电池的阳极电流减少，达到保护金属 A 的目的。Zn（阳极）则被氧化（牺牲）。

（2）外加电流法。将腐蚀原电池的阳极直接和外加直流电源相连接。电子从外加电源的负极流向腐蚀原电池的阳极，再流向腐蚀原电池的阴极使其极化，达到保护金属的目的。

阳极保护 提高被保护金属的电极电位，使其达到钝化状态，从而保护金属不被腐蚀的方法。当腐蚀原电池的可溶阳极为被保护金属时，通入电流，使电极表面附近的离子浓度趋于饱和，析出结晶盐，固结在电极表面，阻碍电流流通，阻止被保护金属溶解。这种现象称为阳极钝化。

对可能钝化的金属，如铁、钛或不锈钢等，通入阳极电流，即可达到保护金属的目的，常用于盐酸、碱、纸浆废液等的金属容器的防腐。

缓蚀剂防护 在金属周围介质中加入少量缓蚀剂以降低阳极反应速度，或抑制阴极析氢反应或氧的还原作用，就能显著地降低金属的腐蚀速度。有阳极缓蚀剂、阴极缓蚀剂、有机缓蚀剂等三种缓蚀剂。

阳极缓蚀剂是降低金属阳极反应速度的物质，如铬酸盐、硝酸钠、 OH^- 、 PO_4^{3-} 等，将其覆盖在受保护金属表面上，形成钝化膜，或使金属处于钝化状态而不被腐蚀。

阴极缓蚀剂是加入到金属周围介质中能抑制阴极析氢反应，从而降低金属腐蚀速度的重金属盐，如



AsCl₃、SbCl₃、Bi₂(SO₄)₃等。

有机缓蚀剂是加入到酸性腐蚀介质中能降低金属腐蚀速度的有机物质，如胺类、醛类、杂环化合物等。

参考书目

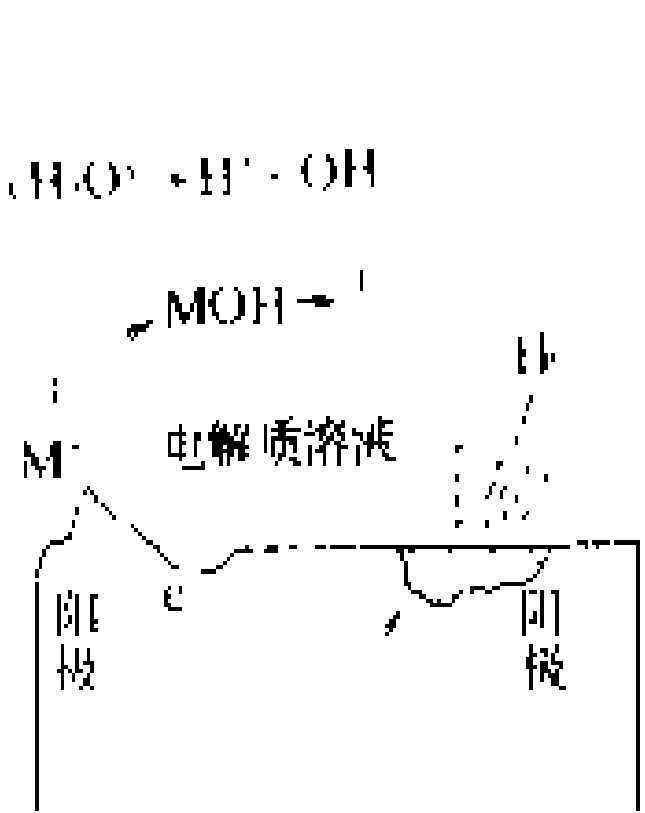
火时中编著，电化学保护，北京：化学工业出版社，1988

(史习先)

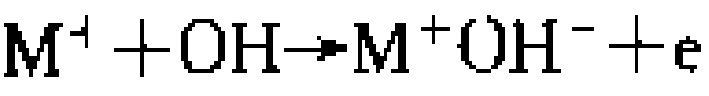
dianhuaxue fushi

电化学腐蚀 (galvanic corrosion) 金属与电解质溶液起电化学反应而发生的腐蚀。电化学腐蚀是金属腐蚀的一种最普遍的形式。金属在各种盐、碱、酸的水溶液中，在海水、潮湿土壤、潮湿空气中都能发生电化学腐蚀。金属的腐蚀对人类的生产和生活危害很大。据工业发达国家调查，每年由于金属腐蚀造成的经济损失约占国民生产总值的2%~4%。中国每年因腐蚀造成的经济损失至少达200亿元。

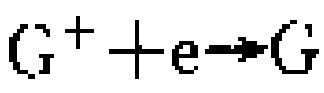
腐蚀机理 金属和电解质作用而发生腐蚀，其过程类似原电池反应，故称腐蚀原电池。腐蚀原电池原理如图所示，其中金属上起氧化反应的部分为阳极，起还原反应的部分为阴极。



阳极反应：金属正离子进入电解质溶液如水，则成为金属的水化离子，即
 $M + nH_2O \rightarrow M^+ \cdot nH_2O + e^-$
H₂O 离解为 H⁺ 和 OH⁻，金属正离子 M⁺ 和 OH⁻ 反应，有



阴极反应：电子和正离子结合、还原，即



由于整个金属是一个导体，因此腐蚀原电池是被短路的电池，不能输出电能，只能腐蚀金属。

分类 腐蚀原电池可分为三类，即宏观电池、浓差原电池、微电池。

宏观电池 直接接触的不同金属在大气、海水或电解质溶液中形成的腐蚀原电池。

浓差原电池 金属和含氧浓度不同的电解质溶液接触而形成的腐蚀原电池。

微电池 由于金属本身化学成分、物理结构等不均匀而形成的、由极微小的电极所组成的腐蚀原电池。

电化学腐蚀的发生必须具备三个条件：①金属的不同部位（或不同金属间）有电极电位差；②有电极电位差的各部分必须相互接触；③有电位差的金属各部分必须同在相连通的电解质溶液中。破坏三个条件中

的任何一个就能避免在金属上发生电化学腐蚀。（见电化学防护）

(史习先)

dianhuaxue gongye

电化学工业 (electrochemical industry)

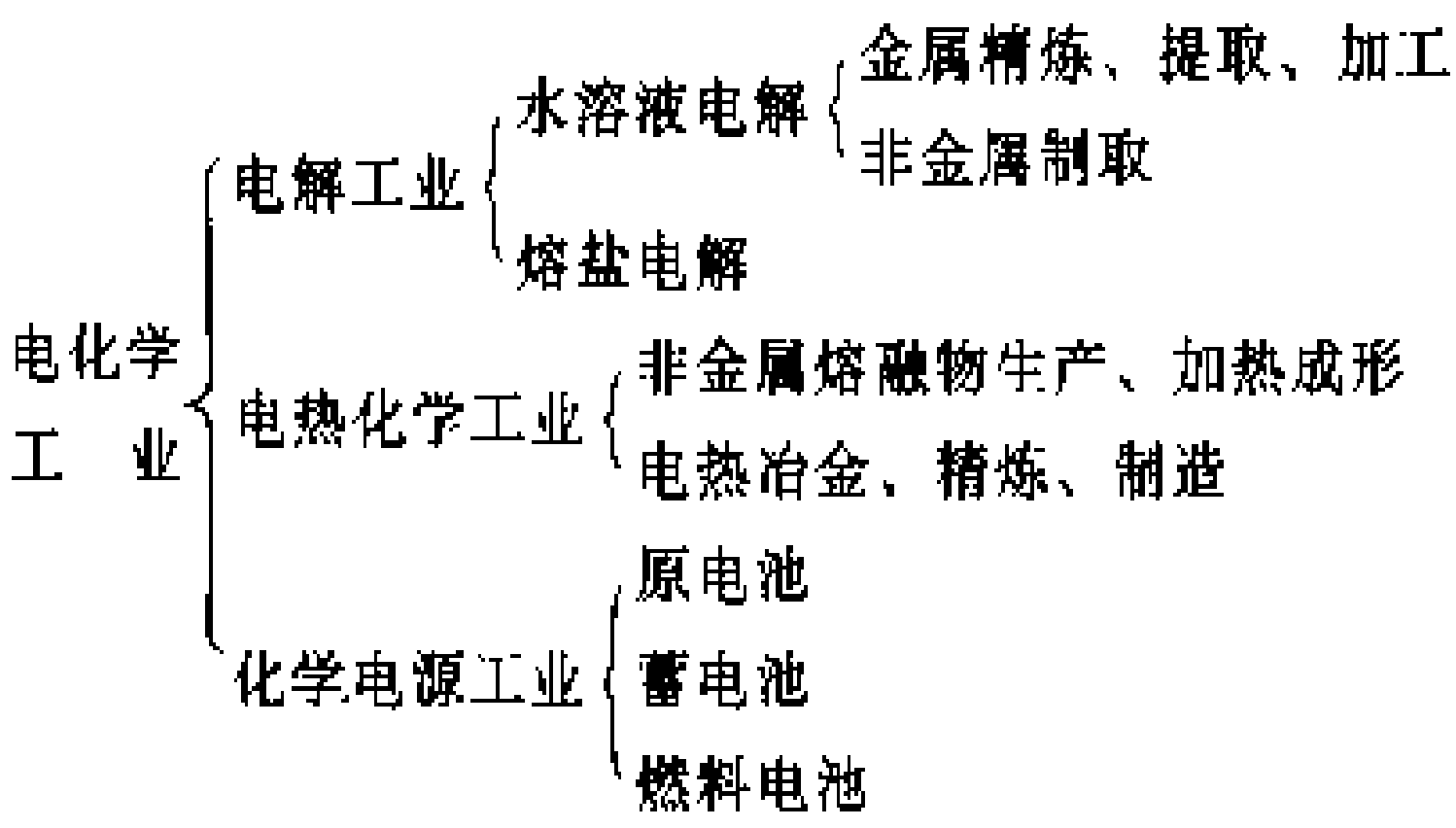
以电化学反应过程为基础的工业。每一种电化学工业都是由一个电化学体系构成的，在其中进行着电化学氧化-还原反应，直接将电能转换为化学能，或制造将化学能转换为电能的装置。电化学工业是消耗电能或生产电源装置的工业。

发展简史 电化学工业是以电池的发明为开端的。1800年，意大利 A. 伏打 (Alessandro Volta) 发明电池，但直到 1836 年才由英国 J. F. 丹尼尔 (John Frederic Daniell) 将其工业化。同年，英国 J. B. 埃尔金顿 (J. B. Elkington) 利用丹尼尔电池为电源发明了电镀银的技术，随之金、铜、镍的电镀技术相继工业化。1839 年，德国 M. H. 雅科比 (M. H. Jacobi) 发明了电铸技术。1870 年，直流发电机问世。直流大电流的获得为电解技术工业化创造了条件。1865 年，J. B. 埃尔金顿公布了铜电解精炼的专利。1881 年，法国 L. 利特伦基 (L. Litrange) 公布了锌电解提取锌的专利并开始工业化。电解制碱工业开创于 1890 年，德国用隔膜电解槽制造氢氧化钠。不久，美国 H. Y. 卡斯特纳 (Hamilton Young Castner) 发明水银电解法制碱，并被世界各国所采用。在此同一年代，还发明了电解水以制取氧气和氢气的电解槽，但直到 1913 年合成氨工业化之后，水电解才得以工业化。1860 年，法国 G. 普朗特 (Gaston Planté) 发明了第一个供实用的铅蓄电池。1868 年，法国 G. 勒克朗谢 (Georges Leclanché) 发明了至今仍广泛使用的锌-锰干电池（见原电池）。1904 年，美国 T. A. 爱迪生 (Thomas Alva Edison) 发明了碱性蓄电池。熔盐电解工业开创于 1886 年，H. Y. 卡斯特纳电解光卤石制取镁。同年，美国 C. M. 霍尔 (Charles Martin Hall) 和法国 P. L. T. 埃鲁 (Paul Louis Toussaint Héroult) 同时申请了电解法制铝的专利，成为百年来唯一的工业炼铝方法。1879 年，E. W. 西门子 (Ernst Werner von Siemens) 发明电弧炉，之后，美国 E. G. 艾奇逊 (Edward Goodrich Acheson) 利用电弧炉于 1891 年和 1896 年制成碳化硅和石墨。1877 年，S. D. 菲诺蒂 (S. D. Finotti) 发明了低频感应炉，1918 年，F. F. 诺思拉普 (F. F. Northrup) 发明高频感应炉，为制造高纯金属及合金创造了条件。这些都是电热化学工业的基础。在 1885~1900 年的 15 年间，电化学工业在欧美各国蓬勃发展。特别是在第二次世界大战期间，由于战争物资及肥料等需求猛增，电解工



业及电热化学工业得到飞速发展。其后，航空、航天、电子工业的兴起，家用电器的普及，都需要大量多种纯金属、半导体材料、新型的化学电源。这些都促使电化学工业向更高的层次发展。

分类 电化学工业主要可分为电解工业、电热化学工业、化学电源工业三大类（如表所示），其中很多是大量消耗电能的，如冶炼金属铝的铝电解工业。



电解工业 又可分为水溶液电解工业和熔盐电解工业两大类。水溶液电解利用电解原理生产氯、氯和氢氧化钠等；精炼或提取金属，如铜、锌等；作金属表面处理或加工，如电镀、电铸等。熔盐电解是电解工业中的一大门类，很多金属如铝、镁、钠、稀土元素、高熔点稀有金属钽、锆、铪、钨等，放射性元素铀、钍等都是利用熔盐电解原理制取的。

水溶液电解工业中的金属精炼和提取、熔盐电解工业以及电热化学工业中的电热冶金，又合称电冶金。

电热化学工业 可分为非金属和金属电热化学工业两大类。前者生产：①碳化物及研磨材料如电石、碳化硅、氮化硅等；②磷系材料如磷、磷酸、溶性磷酸等；③高熔点材料如硼化物、碳化物、硅化物、氮化物等；④电熔物如矾土水泥、熔融石英、熔融氧化铝砖等；⑤炭类如人造石墨、电极等。后者生产：①钢、特殊钢、钛熔渣等；②铁合金类如铁锰、硅锰、铁硅、铁铬、铁镍等；③非铁金属如硅、锰、硅锰、钙硅、铝硅等。

化学电源工业 包括原电池、蓄电池、燃料电池等的制造。原电池、蓄电池种类繁多，用途广泛，并且新型电池不断出现，现已形成一门新兴的重要工业。

电化学工业用电 一般有以下特点：①用电量大；②负荷多数平稳；③除部分电热化学工业、化学电源工业外，多为连续生产，对供电可靠性要求较高；④功率因数一般均较高；⑤大型整流设备常给电力网带来一定的谐波污染。

电化学工业是耗电量大的工业。其中电热化学工业如电石冶炼、电炉炼钢等，电解工业如食盐电解、铝电解等是主要的消耗电能较多的工业。化学电源工业本身虽然用电不多，但是制造电池的材料、充电等所需电力却相当多。因此，降低单位产品（产值）电耗、节

约电能是电化学工业的重要课题之一。为此，可以从多方面采取措施，如设备合理化、设备大型化、精选原料、优化原料配比、机械化、自动控制、生产过程的严格管理等，从而提高电解槽、电炉等的电效率。

（杨启元）

dianji fangdaji zhiliu tiaosu

电机放大机直流调速 (speed control of DC motor by amplifier)

用电机放大机发出电压可调的直流电，实现直流电动机调速的技术。从20世纪30年代起，电机放大机开始被实际应用到电力拖动之中。在20世纪40~50年代，电机放大机调速被广泛应用于有高调速要求的场合。随着磁放大器的出现，半导体器件的发展，又由于电机放大机存在换向器、碳刷等薄弱环节以及振动、噪声等，故电机放大机调速逐渐被取代。

电机放大机 一种借外电源输入的功率将微弱的输入（控制）信号高倍放大成较强的同性质的输出功率的装置，亦称功率扩大机。调节直流发电机的励磁电流可以调节发电机电枢电压，这一调节过程即具有放大作用。电机放大机则是再次利用电枢磁通所产生的工作磁场加以放大，即相当于两台直流他励发电机串级运行，从而大大提高了放大倍数。电机放大机按主要工作磁场所在轴线可分为直轴和交轴磁场电机放大机两类。交轴磁场电机放大机（简称交磁放大机）是常用的一种电机放大机，它是利用交轴电枢磁通所产生的磁场作为工作磁场的电机放大机，其输出功率可达数十千瓦。

交磁放大机的接线示意图如图1(a)所示。图中，

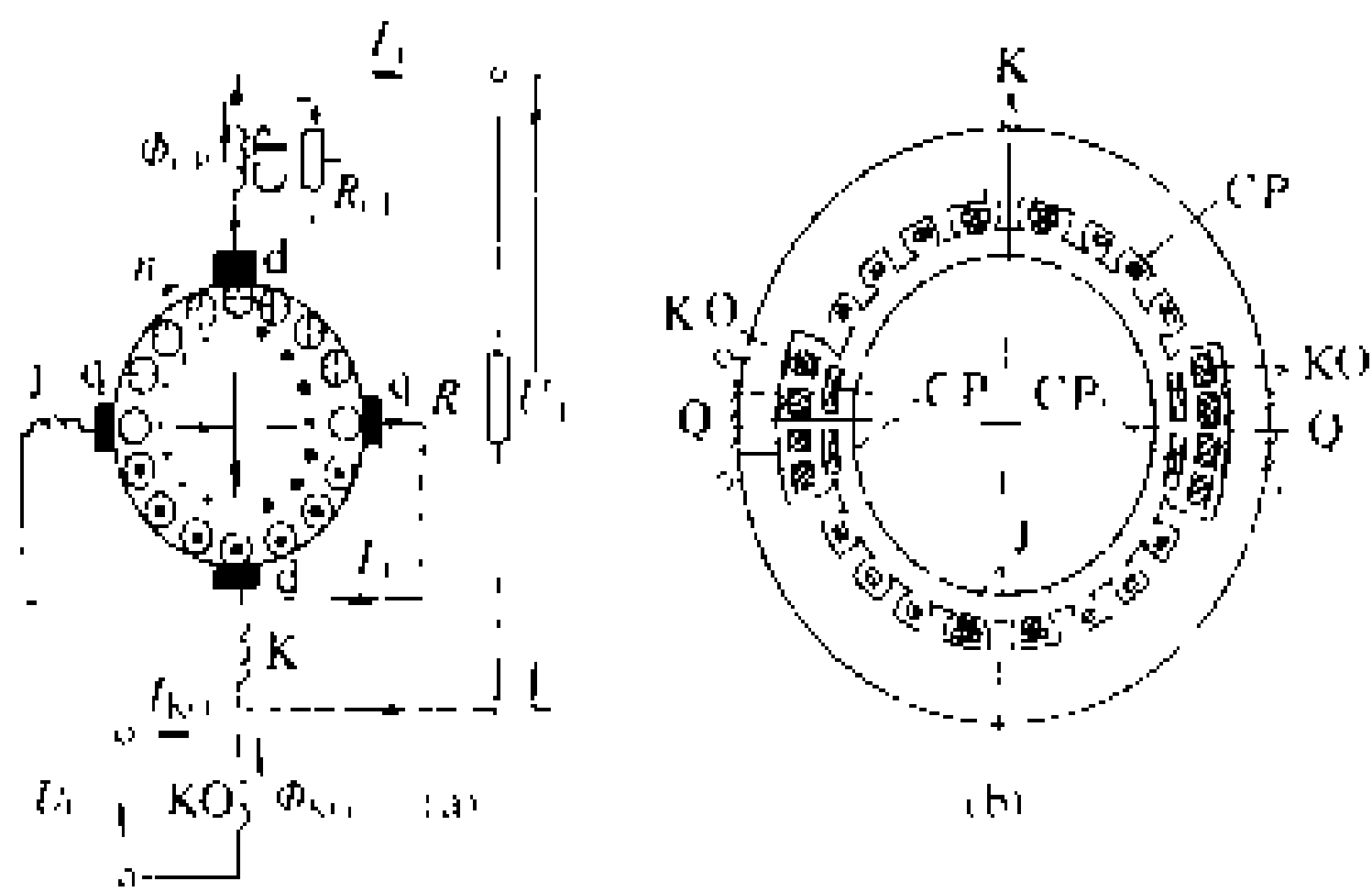


图1 交磁放大机示意图

(a) 接线示意图；(b) 定子冲片与绕组示意图

换向器放置了两套电刷：交轴上的q—q电刷短接；直轴上的d—d电刷为输出端。定子上通常装设有一个或数个控制绕组。交磁放大机由电动机拖动恒速旋转。当控制绕组KO受电压 U_{KO} 作用而有电流 I_{KO} 时，该绕组产生磁通 Φ_{KO} ，并在电枢绕组中交轴感应电动势 E_q ，即

为交磁放大机中的第一级放大。由于 q—q 电刷短接，将产生一个相当大的交轴电流 I_q ， E_q 及 I_q 的方向如图 1 (a) 中电枢外层符号所示。电流 I_q 产生一个很强的交轴电枢磁通 Φ_{aq} ，对于直轴电枢回路而言是一个主磁场，故在直轴电刷 d—d 两端得到一个经过第二级放大的直轴电动势 E_d 。若直轴电刷与外负载相连，则将有负载电流 I_d 流过。由于电流 I_d 所产生的磁通 Φ_{ad} 呈去磁作用，在定子上加装有分布的补偿绕组 CP，以抵消直轴电枢去磁反应。为了改善换向，在直轴处装有与电枢回路串联的换向极绕组 K。其定子冲片及各绕组的安置如图 1 (b) 所示。图中 J 为交轴助磁绕组，用于改善交轴换向；Q 为交流去磁绕组，用以消除铁芯中的剩磁。

对放大机的主要技术指标是放大系数和时间常数。为提高放大系数，交磁放大机中磁密设计得较普通电机为低，气隙也较小，硅钢片的导磁性能良好，以使一定磁通势作用下产生更强的磁场。如提高电机运行转速，也可提高放大系数。一般交磁放大机的放大系数为 500~10000。交磁放大机接收信号后反应的快慢主要取决于回路的时间常数，它们包括控制回路、交轴回路和负载回路的时间常数。控制回路的时间常数很小，与负载回路时间常数有关，交轴回路时间常数为 0.03~0.015 s。减小时间常数即加快对接收信号的反应。但减小时间常数会导致放大系数的降低，因此设计中必须考虑在提高放大系数的同时，尽量减小时间常数。

调速系统 电机放大机直流调速可分为：电机放大机直接给直流电动机的电枢供电的调速；电机放大机直接给直流电动机励磁绕组供电的调速；电机放大机给直流发电机励磁，再由该直流发电机给直流电动机的电枢供电的调速；电机放大机给直流发电机励磁，再由该直流发电机给直流电动机励磁绕组供电的调速，共四种方式。后两种方式的特点是被控制的直流电动机的容量不受电机放大机输出功率的限制，但是增加了控制环节，增大了控制系统的时间常数。

电机放大机直接给电动机电枢供电的调速系统可作四象限运行，无级调速。由于具有反馈控制功能，可得到比电动机—发电机组调速更优越的性能，适用范围也更广泛。

图 2 为电机放大机—直流电动机调速系统的典型示意图。图示电机放大机的输出端与直流电动机电枢相连。给定电压输入到控制绕组 I。电机放大机电枢电压的一部分输入到控制绕组 II 并使其磁通与控制绕组 I 的磁通方向相反，构成电压负反馈。其作用是减小电机放大机输出端的剩磁电压及非线性，在负载电流、温度等变动时，使电机放大机的输出电压值保持相对稳定，改善转速特性，扩大调速范围。控制绕组 III 接收测

速发电机输出的、正比于转速的电压信号，其磁通与控制绕组 I 的磁通方向相反，构成转速负反馈，使被控电动机的转速值追随给定值。其转速特性优于只使用电枢电压负反馈的调速系统，其调速范围可达几十，调速精度可小于百分之几。

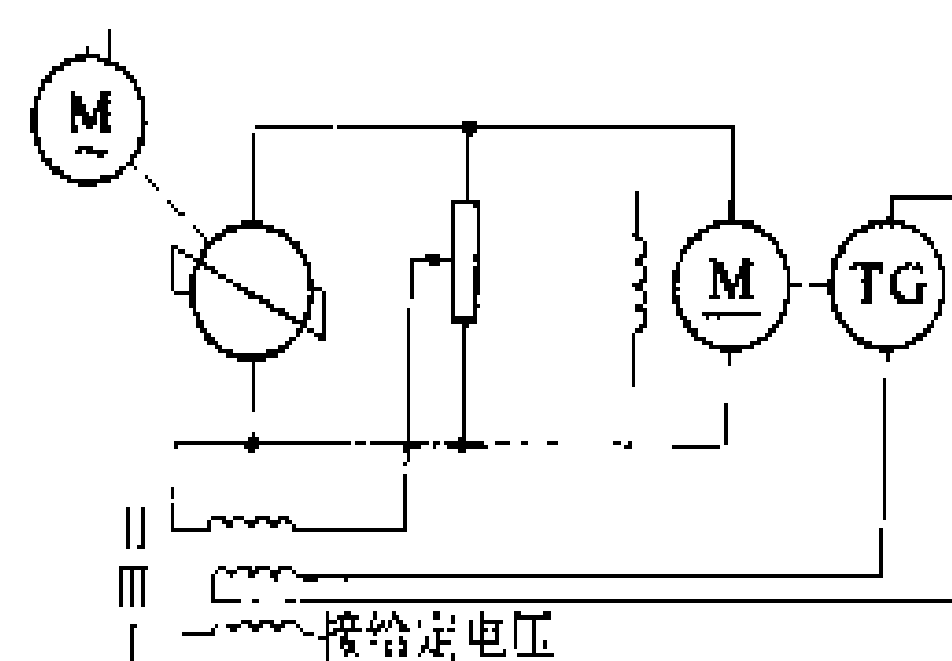


图 2 电机放大机—直流电动机
调速系统典型示意图
TG—测速发电机；M—电动机

在电机放大机直流调速系统中，如在电机放大机控制绕组之前接入适当的放大环节，其转速特性可相应提高。

参考书目

- 彭志瑾编著．电气传动与调速系统．北京：北京理工大学出版社，1988
杨兴瑶编著．电动机调速的原理及系统．北京：水利电力出版社，1985

（黄继鹄 施传立）

dianji fanying

电极反应 (electrode reaction) 电流通过电极和电解质溶液界面时，电极上发生的化学变化。将两个电极插入电解质溶液中，接通电源，电解质中的正、负离子分别移向不同极性的电极，在电极上接受或释放电子变成中性原子或分子。以铜的电解精炼为例，以欲电解精炼的铜作阳极，以纯铜片作阴极，插入硫酸铜电解质溶液中，接通电源。由于阳极中电极电位（见电极势）比铜的电位负的杂质金属很少，电极电位比铜的电位正的金、银又不溶解，所以阳极的主要反应是



电解液中 Cu^{2+} 的析出电势较正，且浓度较大，所以阴极上的主要反应是



任何化学反应都是原子的电子组态发生变化的结果。释放电子为氧化，获得电子为还原。从总体说，由两电极反应联合而成的总反应即为氧化-还原反应。

（马荫华）

dianji jihua

电极极化 (polarized electrode) 电极上有直流电通过时，电极电位（见电极势） ϕ 偏离平衡电位 ϕ_0 的现象，又称极化。极化或偏离的数值称为超电位



$\Delta\varphi, \Delta\varphi=\varphi-\varphi_0$ 。阳极极化时 $\Delta\varphi$ 为正值, 阴极极化时 $\Delta\varphi$ 为负值。电极表面的电化学反应速度小于电子传递速度的电极极化称为电化学反应极化, 溶液中离子传递速度小于电子传递速度的电极极化称为浓差极化。

(杨启元)

dianjishi

电极势 (electrode potential) 电极与溶液接触时产生的电势, 又称电极电位。各种物质的电极势不能直接测得。通常假定标准氢电极的电势为零作为比较的标准, 而获得其他物质的电极势, 以 V 表示。浓度为 1 克离子/L 时的电极势称为标准电极势。金属的电极势可以说明该金属得失电子的难易, 电极势愈小, 愈易失去电子, 性质愈活泼, 相反, 这种金属愈难得到电子。例如, 金属钠的电极势较小, 钠原子较易失去电子而成为钠离子, 而钠离子则较难得到电子而还原成钠原子。

(马荫华)

dianjiare

电加热 (electric heating) 以电能为能源加热物料, 并通过电炉、电焊机等来实现加热的一种方法。电加热时, 电能转变成热能, 并将已获得的热能用于物料的加热, 或进一步完成物料特定的加工工艺过程, 如熔炼、热处理、焊接等。

分类和应用 电加热大体上可分成两大类。一类是电能 在电炉、电热器具上转变成热能后加热物料。如电阻炉通过电热元件, 电弧炉通过电弧放电将电能转变成热能, 加热物料。或者电能 在电炉、电热器具上通过被加热物料自身转变成热能, 加热物料。如在电子束电热设备中, 电子从高压电场获得动能, 而在电子撞击被加热物料时, 该动能又转变成热能; 又如在直接电阻加热设备上, 被加热物料直接通电; 在感应炉上, 使被加热物料产生感应电流, 因物料的电阻使电能转变成热能加热物料等等。另一类是利用电能驱动热泵, 把热能从温度较低的物体输送给温度较高的物体。表中列出了各种电加热及相应的设备和用途。

电 加 热 设 备 和 用 途

电加热类别	相 应 的 设 备 和 用 途
电阻加热	间接电阻加热设备主要是具有电热元件的各种电阻炉、电热熔炉、流态粒子炉等, 用于金属的加热、热处理、粉末冶金烧结、钎焊。直接电阻加热设备用于制取人造石墨、碳化硅, 金属棒料、管材的加热, 电阻焊等。电渣重熔炉用于钢的重熔精炼
电弧加热	直接电弧炉用于炼钢、熔铸耐火材料的熔化、在真空状态下熔炼难熔金属等; 钢包精炼炉用于钢液的炉外精炼; 埋弧炉用于制取电石、黄磷、工业硅、铁合金以及电熔耐火材料等 用于电弧焊, 埋弧焊
感应加热	感应熔炼炉用于金属的熔炼或液态金属的保温; 感应透热设备用于金属锭子加工 (如轧制、挤压、锻压热处理等) 前的加热; 感应淬火设备用于钢零件的表面加热和淬火; 真空感应烧结设备用于粉末材料的烧结或粉末成型零件的再结晶加热 用于高频焊
高频电场加热	介质加热设备用于塑料加工和焊接、物料干燥、食品解冻; 微波炉用于食品的烹调, 物料的干燥、杀菌, 橡胶硫化等
红外加热	设备主要是具有红外辐射加热器的加热炉, 用于涂层烤附和烘干、物料干燥、塑料成型加工、食品烘烤等。红外加热波长在 $0.76\sim2\mu\text{m}$ 的为近红外加热, 波长在 $2\sim1000\mu\text{m}$ 的为远红外加热
等离子加热	等离子炉用于优质合金钢、难熔金属及其合金的熔炼, 高纯粉末材料化工产品的制取。离子表面处理设备用于在金属、非金属材料表面镀膜, 钢表面热处理, 电子器件表面清理和高精度刻蚀, 半导体渗杂等 用于等离子焊接、切割
电子束加热	电子束炉用于优质钢、难熔金属及其合金的熔炼, 材料区域提纯制取单晶, 用于金属的焊接 (见电子束焊)、表面热处理、表面蒸镀、钻孔、切割、刻蚀等
激光加热	用于激光焊、激光热处理、切割、钻孔、刻蚀以及医用激光等
利用热泵	建筑物空调和集中供应热水, 食品、木材、纤维等的干燥, 食品和化学溶液的蒸馏和浓缩, 废热回收利用等 (见建筑物电加热设施)



优缺点 与用煤、重油、天然气等的燃料加热比,电加热有许多优点,主要是:加热方式多,适用面广;加热功率可高度集中,有利于局部加热和表面加热;可在物料内部加热;可在洁净的环境如真空或惰性气体中加热;加热参数和过程可精确方便地控制;对环境的污染少等。电加热已是冶金、机械、电子、化工、航空、航天、核能等工业部门不可缺少的工艺手段,许多优质材料只有用电加热才能制取,许多高难度的热加工只有用电加热才能完成。

电加热的缺点是:电能是二次能源,一般情况下费用较高;某些电热设备运行时会对公用电网产生不良影响(如电弧炉),或对无线电通信有干扰(如某些频率的加热电源)。

历史和展望 自从19世纪后期,电阻加热、电弧加热和感应加热得到开发后,随着电力工业的发展,到20世纪二三十年代电加热已在工业上得到相当大的推广应用。在其后的半个多世纪中又出现了许多新的电加热方法,并进入到工业生产和家庭生活中,在电力工业中,电加热是仅次于电力拖动的第二大用电门类。中国据1984年统计,全国工业耗电中,电加热约占13%,而且有迅速增长的趋势。日本据1986年统计,电加热的年耗电量占全国总发电量的15.7%。鉴于电加热耗电量大,在电热设备的设计和使用,以及电加热工艺的选择时,节电始终是一个主要的课题。

虽然电加热的费用一般情况下比燃料加热要高,多用在有特殊要求的供热加热作业上,但随着电加热技术和能量综合利用技术的提高,预计将有进一步的发展。

参考书目

西安电炉研究所编. 电炉, 北京: 机械工业出版社, 1981

(蒋聪吉 胡叔良)

dianpare jiedian jishu

电加热节电技术 (electrical heating technology saving electricity) 降低电加热设备及其工艺中电能消耗的措施与方法。电加热的种类很多,有电阻加热、电弧加热、感应加热、电子束加热、等离子加热、介质加热等,对应这些不同的电加热,有电阻炉(盐浴炉)、电弧炉(电阻电弧炉)、感应炉、电子束炉、等离子炉、高频加热设备等不同的电加热炉或电加热设备。电加热设备在冶金、机械、化工、电子等行业应用得范围比较广,数量也比较大,用电量占的比例较大。电加热节电技术可归纳为正确选择电加热炉的炉型,采用轻体耐火保温材料,减少散热损失,采用先进的元件,改革工艺和设备,采用微机自动控制,加

强管理、组织实行专业化集中生产等。

正确地选择电加热炉的炉型 正确地选择电加热炉的炉型是从根本上抓好节电的保证。电加热炉炉型根据生产品种、工艺要求、产量多少、作业连续程度等情况来选用。在选用热处理用电炉时,对处理多品种小批量的工件,可选择周期作业的箱式炉;对处理工件表面要求较高时,可采用密封性好的箱式炉、井式炉或用可控气氛多用炉;对处理工件表面要求很高时,可采用真空炉;对处理批量大、品种较少的工件,宜采用各种连续机械化作业炉;对处理较重、尺寸较大的工件,可采用台车式炉或滚动底式炉;对处理要求变形小的细长工件,宜采用井式炉;对工件需进行化学处理时,可采用井式渗碳炉、氮化炉、离子氮化炉、可控气氛多用炉;对需化学处理的工件批量大时,可采用贯通式气体渗碳炉;对处理大批量单品种工件,应考虑用感应局部加热、表面加热。总之,选用热处理用电炉炉型应尽可能保证使用、操作、维修方便,尽量减轻体力劳动,使工件变形小,氧化脱碳轻,加热速度快,炉温均匀,温度控制准确,无公害或少公害,结构简单,便于制造,耐热钢材消耗少,占地面积小等。

采用轻体耐火保温材料 电加热节电的关键是缩短加热时间,减少蓄热和散热损失,提高电能利用率。20世纪70年代以来,广泛地采用轻质耐火保温材料、轻质耐火砖、超轻质耐火保温砖、硅酸铝纤维毡、多晶莫来石纤维、硅酸铝纤维砖砌筑热处理用电炉、烘烤炉炉体和用于熔炼炉外层的保温。在热处理用电炉的内衬涂高温涂料,可以增加内壁表层的强度和反射能力。

采用先进的元件 随着时代的发展,先进的电加热元件将不断地出现,应根据实际情况及时更新,以节约电能。在烘烤炉中,将电阻加热元件,改换为远红外加热元件,如碳化硅、乳白石英管、陶瓷黑体加热元件等;热处理用电阻炉中将电阻丝换为电阻带,在中高频热处理炉中将闸流管换为高压硅堆,并加调压装置。

改革工艺和设备 改革工艺的节电潜力最大。根据工件在使用中的特性,可将热处理工艺中的整体加热改为局部加热,改氧化中加热为可控气氛中加热,应用辉光离子氮化等。电弧炉炼钢可根据钢种情况,采用同炉碴洗法,取消还原期;采用熔氧合一。

利用空气保温夹层新技术和耐火纤维直接喷敷新工艺,对老设备进行技术改造,可以取得明显的节电效果。

采用微机自动控制 如用微机控制热处理电炉的升温曲线、作业时间,炼钢电弧炉的配电曲线,电阻电弧炉投料配电和出炉的时间,可缩短工作时间或冶炼时间,提高产品质量,节约电能。

加强管理,集中生产或组织专业化生产 电加热生产比较分散,一般机加工企业都有炼钢炉和热处理



车间,工件不多也得开一次炉,浪费很大。应该把这些企业组织起来,一个市设少数专业化工厂,集中生产;对一个企业来说也应对电加热设备加强管理,把工件集中到足够开炉的程度再开炉,搞满量生产,以节约用电。

(蒋凤铎 徐纪法)

dionjie

电解 (electrolysis) 在电解槽中,直流电通过电极及电解质,在电极和电解质接触的界面上发生电化学反应,以制备所需产品的过程。电化学电解体系可表示为:电极|电解质|电极,其中“|”表示电极。在电解过程中,所发生的电化学反应为氧化-还原反应,所需能量是电能,不使用燃料、氧化剂、还原剂等,所以能得到非常纯净的制品。以电解原理发展起来的工业可分为水溶液电解工业和熔盐电解工业两大类。此外,应用电解原理可对金属件作表面处理,也可对非金属件作表面处理。

发展简史 1807年,英国H.戴维(Humphry Davy)电解熔融苛性碱制得钾、钠,开创了制备高纯物质的新途径。1870年,直流发电机问世,为电解技术的工业化创造了物质条件。1886年,美国C.M.霍尔(Charles Martin Hall)和法国P.L.T.埃鲁(Paul Louis Toussaint Heroult)电解制铝成功。1890年,电解氯化钾制取氯工业化。1897年,水银电解法制烧碱实现工业化。1937年,利用电解法生产有机化学产品工业化。电解技术实为工业生产中极为重要的工艺方法之一。

原理 将两片导电电极插入电解质(溶液或熔盐)中,接通直流电源,电解质中处于无秩序运动的离子即作定向运动(见图1)。阳离子向阴极移动,在阴极得到电子而被还原。阴离子移向阳极,在阳极失去电子而

在金属电解精炼过程中,残留在阳极表面和沉于槽底的不溶性泥状物称为阳极泥。粗金属中所含的金、银、硒、碲等几乎都留在阳极泥中。阳极泥是贵金属的重要来源之一。

电解过程的电能效率是电流效率和电压效率的乘积。

电流效率 阴极上实际析出的产品的量与理论析出量之比的百分数。影响电流效率的因素有:①阳极和阴极之间因短路而产生的漏电;②通过电解质向大地漏电;③阳极杂质金属等电解反应(副反应)所消耗的电能;④产品的再溶解。

电压效率 电解质的理论电解电压与实际电解电压(电解槽槽电压)之比的百分数。电解槽槽电压的计算公式为

电解槽槽电压=理论电解电压+超电压

+输电导体电压损失

式中理论电解电压相当于电极电位,超电压相当于超电位(见电极势、电极极化)。通常槽电压远大于理论电解电压,因此,降低超电压和输电导体的电压损失是提高电压效率的关键。影响超电压的因素有:电极材料和电极间距,电解质温度、浓度、pH值等。此外,影响槽电压的因素还有导电体和电极之间的接触电压、隔膜材料、电解槽结构、电流密度等。电解槽的发展多集中在改善电解槽的结构和电极材料上。

电解体系 按电解质的不同,可分为水溶液电解和熔盐电解两类,其电解原理是相同的。电解体系均由电极、电解质、槽体、直流电源等部分组成。两类电解体系的组成部分虽然相同,但在电极、电解质、槽体等的材料、形状等方面有很大的区别。

水溶液电解 电解质为酸、碱、盐等能导电的水溶液。

(1)电极:电解体系中向电解质输入和导出电流的端部导电物质,通常为金属,也可为非金属导体。电流经过并流向电解质的电极称为阳极(电解精炼时的粗金属),电流从电解质流向电极并流回电源的电极称为阴极(电解精炼时为纯金属)。

在水溶液电冶金中,阳极又可分为可溶阳极和不溶阳极两类。电解精炼金属时,由粗金属制成的、并在电解过程中逐渐溶解在电解液中的阳极称为可溶阳极。从含金属离子的水溶液中电解提取金属时,所用仅起导电作用而不溶解的阳极称为不溶阳极。在化学工业中,电解采用的阳极为不溶阳极。20世纪60年代出现的金属氧化物电极是阳极材料的重大革新。

在水溶液电解中,提纯或提取的金属析出在阴极上,所以多用被精炼或提取金属的纯金属薄片作阴极,也可用其他金属或合金板作阴极,使金属析出在此阴极板上,待到一定厚度时,用人工或机械将析出之金属

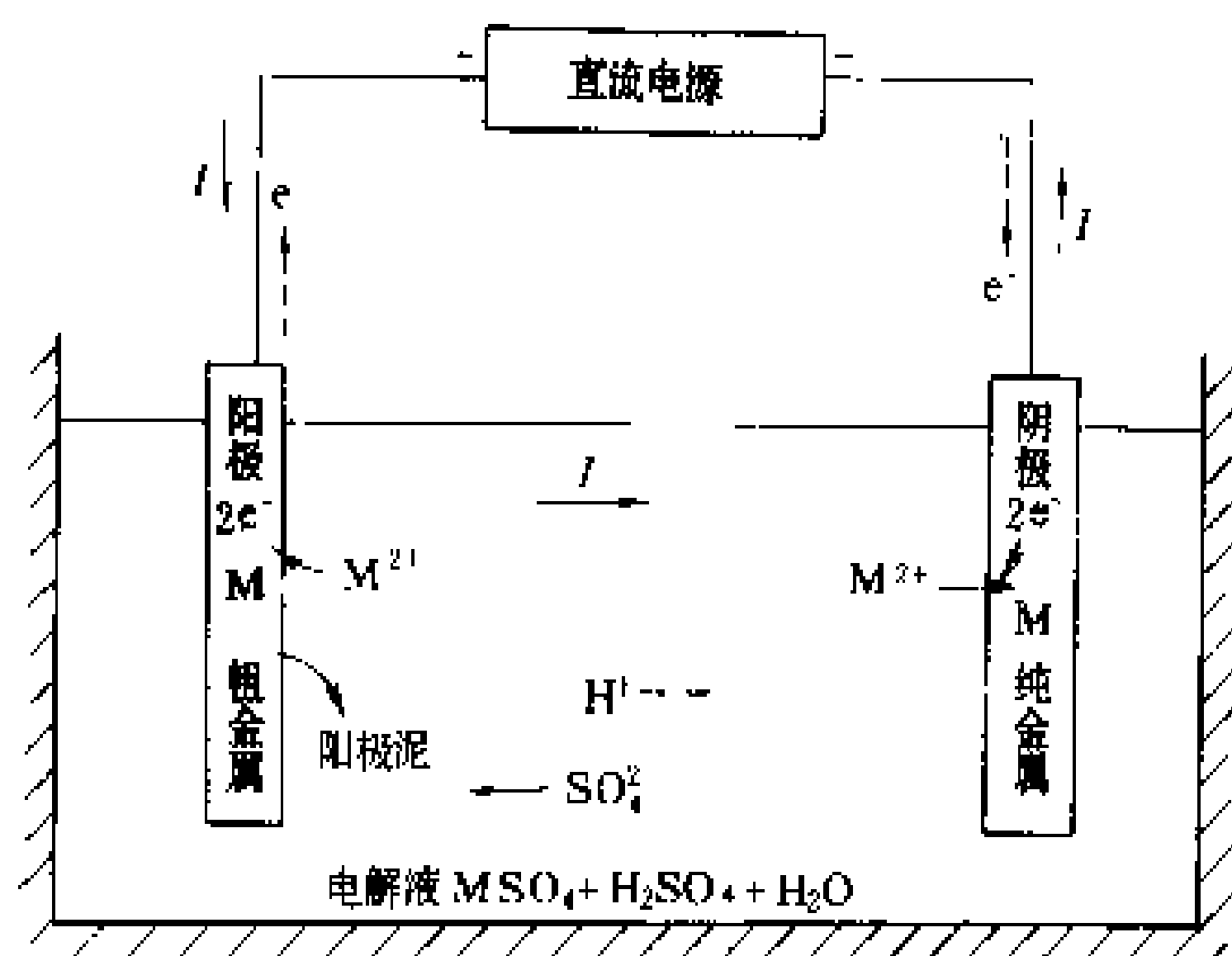


图1 电解原理示意图

被氧化。在阴、阳电极上发生的这种反应分别称为阴极反应和阳极反应。

剥离。阴极板经过一定处置后再置入电解槽中继续使用。此种阴极也称为永久性阴极。在化学工业中,常用低碳钢作阴极,若电解液为硫酸水溶液,则用铅或石墨作阴极。较常使用的多孔镍镀层阴极可以降低电能损耗。

(2) 电解液:由某种物质溶解在特定的溶液中制成的具有离子导电性的液体介质。水溶液电冶金中的电解液多为产品金属盐的水溶液。对电解液的性质有如下要求:①对阳离子的溶解度高、导电率高;②阳离子的化学稳定性好;③价格低廉;④能得到平滑的电解沉积层。根据电解生产产品的不同,可选择适当的电解液。

为改善阴极析出状态,还往往在电解液中添加少量称为添加剂的有机或无机物。

(3) 槽体:水溶液电冶金电解槽槽体呈长方体,材料是钢材、水泥、陶瓷等。对腐蚀性的电解液,钢或水泥槽内须衬以铅、合成树脂或橡胶。在槽的长边上装有导电棒或母线,20~50块阳极和吊挂在横导电棒上的阴极互相间隔、平行,垂直悬挂在槽体中(见图2)。将

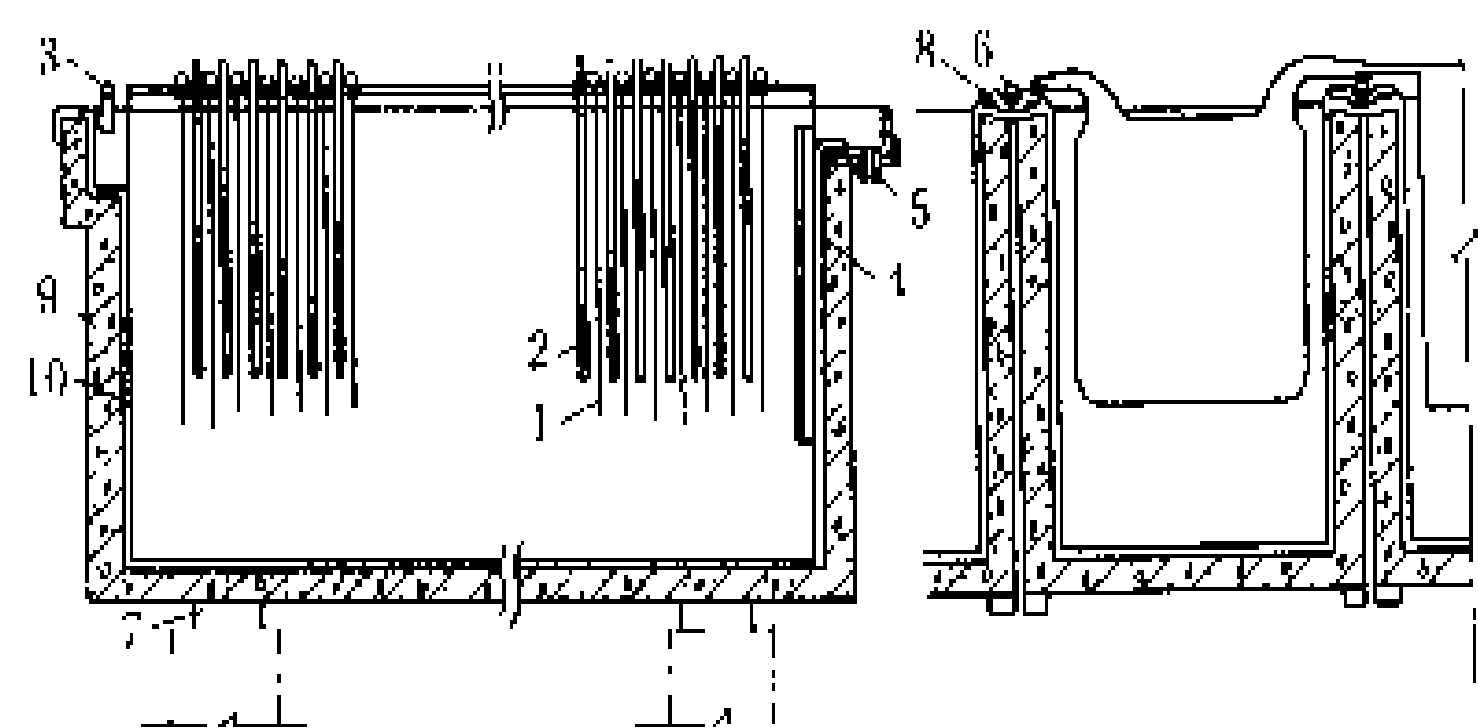


图2 水溶液电解槽

1—阴极;2—阳极;3—进液管;4—溢流槽;5—回液管;
6—槽间导电棒;7—绝缘瓷砖;8—槽间瓷砖;9—槽体;
10—塑料衬里

很多这样的单槽串联起来,如图3所示,即组成了与电源相接的槽系列。

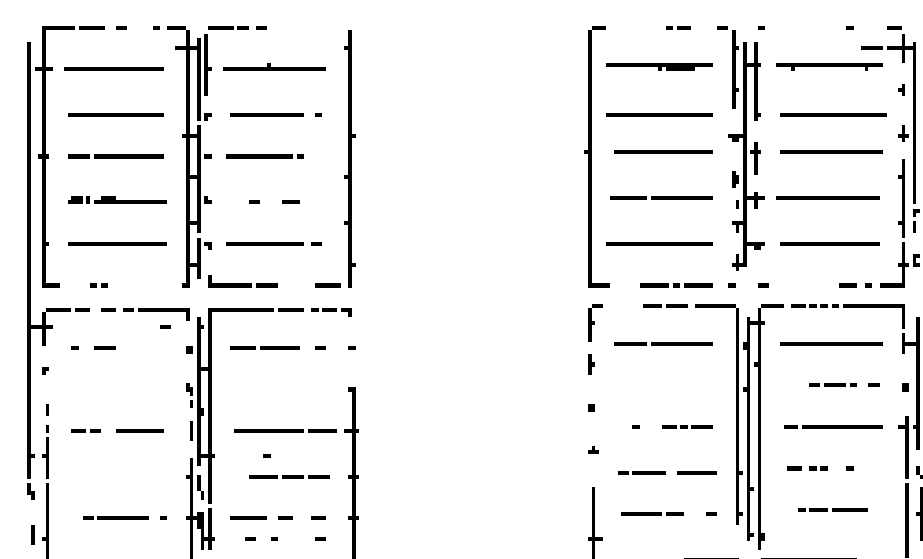


图3 电解槽系列的供电

为隔膜电解。隔膜应能防止阴、阳极两室中电解产物的相互扩散和作用,在金属水溶液电解过程中应能防止杂质金属进入阴极室。隔膜要有一定的孔隙率、化学稳定性和机械强度,多用惰性材料如石棉、帆布等制作。水溶液电解槽正向大型、低能耗方向发展。

熔盐电解 以熔融盐为电解质进行电解的过程。

其熔融温度在643~1253 K之间,高温操作是其特点。多用于铝、镁等轻金属和稀有金属的生产。熔盐电解常需消耗大量电能。

阳极多用石墨或碳,但电解氢氧化钠时则使用铁、镍或镍钢。阴极一般用石墨或碳,但当电解质为氯化镁、氢氧化钠,且与铁不发生反应时,则使用铁阴极。

电解质为熔融状态的盐,主要是卤化物。熔盐应具有较低的熔点,适当的粘度、密度、表面张力,高导电率,低挥发性和不溶解被电解出来的金属熔体等性质。为此,常用由几种盐类组成的混合盐,例如电解镁用 $\text{NaCl}-\text{KCl}-\text{MgCl}_2$ 混合熔盐,电解铝用 $\text{Na}_3\text{AlF}_6-\text{Al}_2\text{O}_3$ 混合熔盐。

槽体的结构材料多用钢材,耐火材料主要使用石墨。

因产品不同,电解槽体、阳极、阴极的形状也各不相同。如铝电解槽的结构和食盐电解槽的结构相差较大等。

电解电源 电解用直流电源有电压低、电流大的特点,电压在30~1200 V之间,电流在0.300~300 kA。电解工艺的不同,对电压调节范围、电流稳定度等的要求也不同。

1870年,直流发电机的发明为电解的工业化创造了条件。以后,相继应用过汞弧整流器、机械整流器等作为电解直流电源。1956年发明了锗整流二极管,1958年研制出晶闸管,并迅速向大功率、高电压方向发展。用其组成的整流器已成为电解用直流电的主要电源设备。(见电解直流电源)

电解工业 利用电解原理进行物质分离、提取、提纯的工业。电解工业也可分为水溶液电解工业和熔盐电解工业两大类。此外,还广泛应用于金属件的表面处理和加工。电解工业分类和用途见表。

电 解 工 业	水溶液电解工业	电解水,制取氢、氧
		电解氯化钠(钾),制取氢氧化钠(钾)、氯、氢
	电解加工工业	电解氧化法,制取氧化剂如氧化氢、氯酸盐、高氯酸盐、高锰酸盐、过硫酸盐等
		电解还原法,电解丙烯腈制取己二腈
电 解 工 业	熔盐电解工业	电解提取,从电解液中提取锌、铜、镉、铬、锰、镍、钴等金属
		电解精炼,用于铜、铅、金、银、铂等的提纯
	熔盐电解工业	电解阴极还原,用于对工件表面作沉积处理,如电镀、电铸
		电解阳极氧化,用于对工件表面作氧化处理,如阳极氧化、电抛光、电解加工等。
电 解 工 业	熔盐电解工业	金属电解冶炼,用于铝、镁、钙、钠、钾、锂、铍等的冶炼
		金属电解精炼,用于铝、钽等的提纯

参考书目

方度等主编. 氯碱工艺学. 北京: 化学工业出版社, 1990

赵天从主编. 重金属冶金学. 北京: 冶金工业出版社, 1981

(杨启元)

dianjie dianyuan zhengliu dianlu

电解电源整流电路 (rectifying circuit of electrolytic power supply)

利用电力半导体器件的单向导电特性, 将交流电转变为直流电作为电解电源的电路。电解电源整流电路是直流电源的核心部分。由该电路所组成的整流器, 其交流侧接三相电力网, 直流侧输出为直流。整流器在接受电力网电能的同时, 也将谐波电流“注入”电力网, 使电力网电压发生畸变, 恶化电力网及用户的运行条件。电解工业用整流器有电压低、电流大、功率大的特点, 相对来说, 其对电力网的谐波污染程度较严重。消除或减缓这种谐波污染的有效措施之一是改进整流器的整流电路。

用整流管组成的电路称为不可控整流电路, 用晶闸管组成的电路称为可控整流电路。两者都可以组成单相、三相或多相整流电路。提高整流电路相数可以降低谐波污染的程度, 增加输出的直流的平滑程度, 但也相应增加了整流器的复杂程度。

在讨论整流电路的工作状态时, 是以下列理想条件为基础的: ①整流管、晶闸管的正向电阻为零、反相电阻为无限大; ②直流电路连接线短的小型电解负荷, 按纯电阻负荷处理, 对有滤波电抗器的大型电解负荷, 则按无限大电感负荷处理; ③有无限大功率的电源是对称电源, 供电电压无畸变。

电解电源常用的有三相半波、三相桥式、带平衡电抗器的双反星形、环形、十二相等整流电路。

三相半波整流电路 图 1 (a) 为晶闸管 V1、V2、V3 组成的三相半波可控整流电路。晶闸管必须同时具备两个条件才能导通: ①承受正向电压; ②有门极触发脉冲电流 i_g 。

如图 1 (b) 所示, 各相电压的交点 (p、q、r) 称为自然换相点, 是整流管可能导通的开始点, 在各相电压 30° 角处。在晶闸管的可控整流电路中, 从自然换相点到提供触发脉冲电流 i_g , 使晶闸管导通的时刻, 其间隔时间, 以电角度计算, 称为延迟角 α 。不可控整流电路是可控整流电路 $\alpha=0^\circ$ 时的情况。

图 1 (c) 表示大电感负荷时, 整流电路的负荷电流 i_d 的波形。

在各自然换相点后的延迟角 α 处, 三相电源通过

各晶闸管轮流导通向负荷供电, 在一个周期内, 每个晶闸管只导通一次, 导通角等于 120° 电角度。在相电压过零处, 负荷中电感释放能量, 维持晶闸管连续导通, 保持着负荷电流 i_d 基本不变。其输出波形是各相电压导通期间波形的包络线, 在电源一个周期内, 有三次脉动。

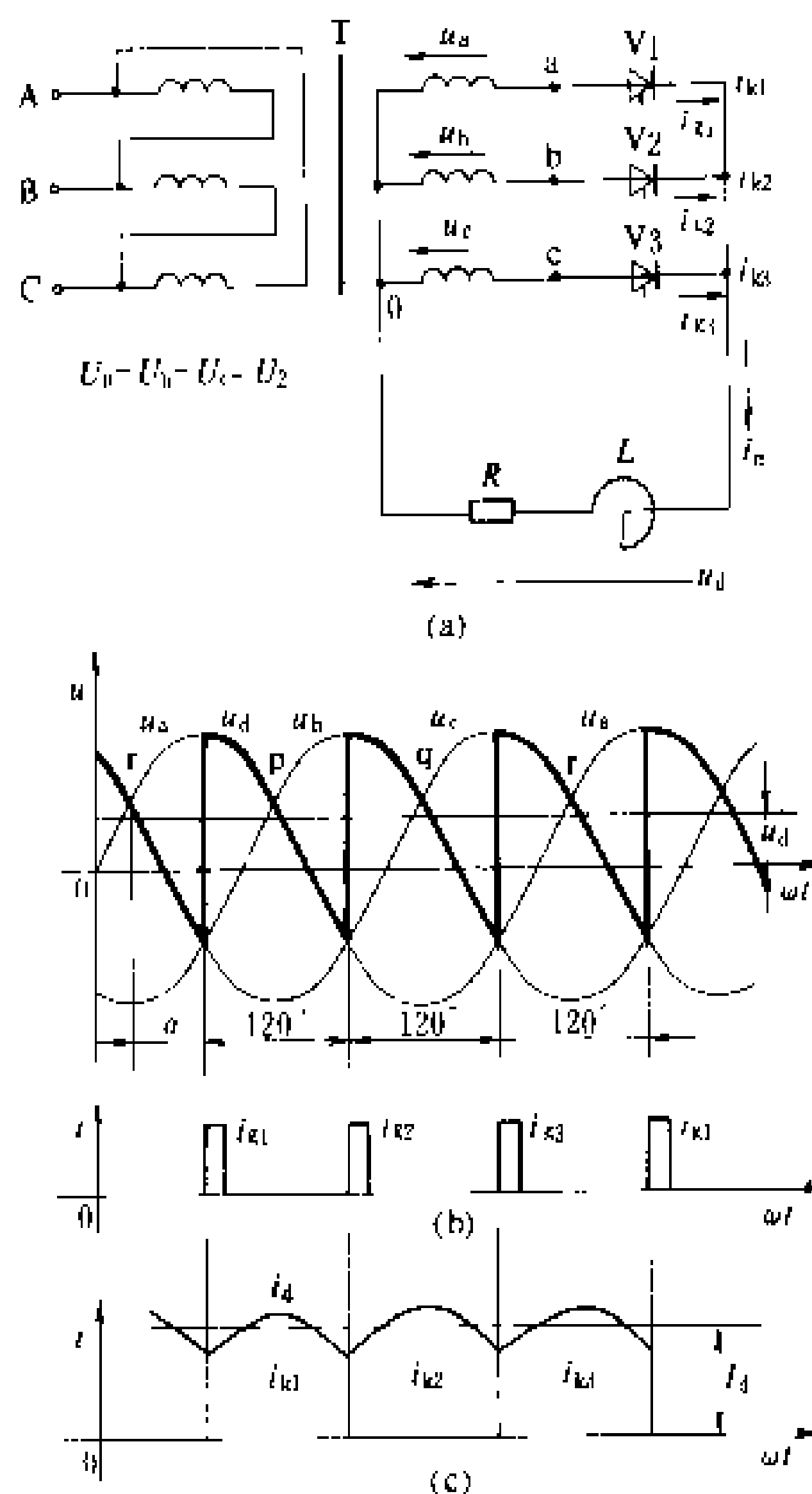


图 1 三相半波可控整流电路

及其电压、电流波形

(a) 电路图; (b) 电压波形; (c) 电流波形

(1) 直流平均电压:

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d\omega t = 1.17 U_2 \cos \alpha, V$$

当 $\alpha=90^\circ$ 时, $U_d=0$ 。因此, 延迟角 α 的移相范围是 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。

(2) 直流平均电流:

$$I_d = \frac{U_d}{R} = \frac{1.17 U_2}{R} \cos \alpha, A$$

交流电源电压为正弦波, 要使变压器的主磁通 Φ 为正弦波, 且变压器二次侧绕组相电压亦为正弦波, 就必须保持励磁电流具有 3 次谐波。通常将一次侧绕组连接成三角形, 构成闭合回路, 为同相的 3 次谐波电流提供通路。把二次侧绕组连接成星形, 这样负荷可以与零线连接成为三相半波整流电路。本电路每相绕组只



有1/3周期工作,利用率低,且有直流分量流过,产生直流磁通势,使变压器易于饱和。

三相桥式整流电路 如图2所示,三相桥式可控整流电路实际上是由两组三相半波整流电路串联构成的。一组为共阴极组,另一组为共阳极组,共用同一交流电源,在二次侧电压相同、负荷相同、延迟角 α 相同的情况下,两组负荷的直流平均电流 I_{d1} 与 I_{d2} 大小相同,但相位相反, $I_{d1}-I_{d2}=0$,故取消了共用的0-0'连线。

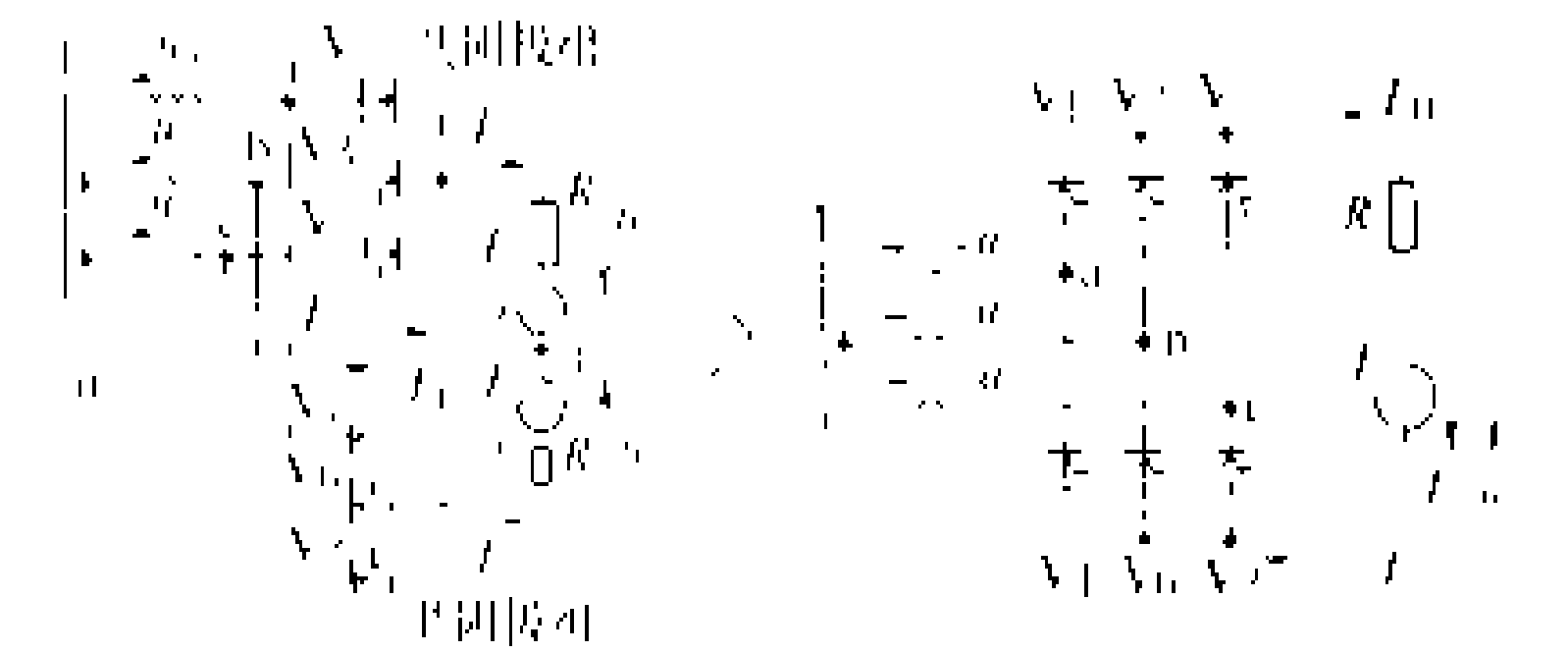


图2 三相桥式可控整流电路

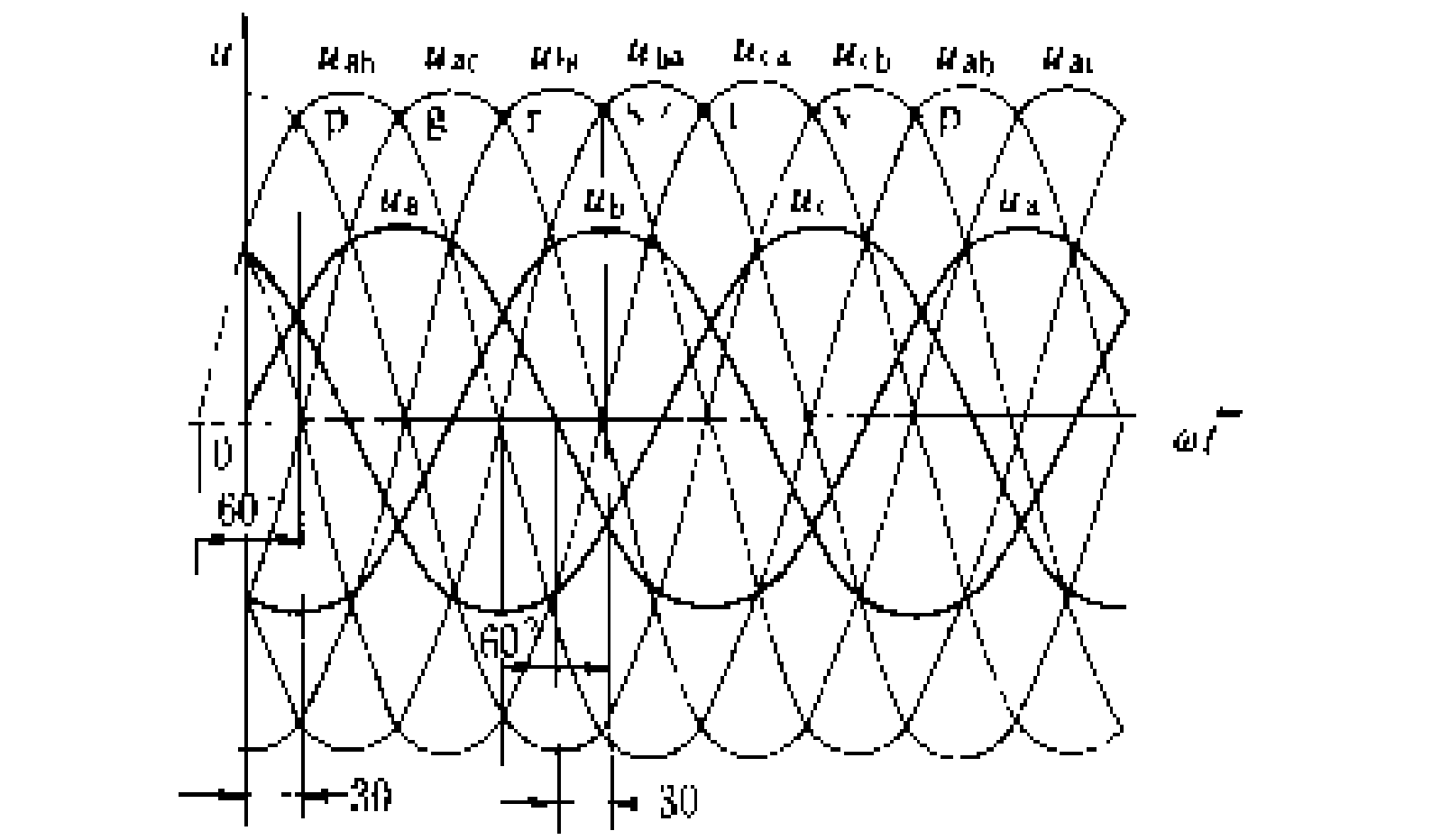


图3 三相桥式可控整流电路的自然换相点

三相桥式可控整流电路由线电压 u_{ab} 、 u_{ac} 、 u_{bc} 、 u_{ba} 、 u_{ca} 、 u_{cb} 轮换起作用。如图3所示,p、q、r、s、t、v是其自然换相点,也是6个线电压正半周波形的交点(在各线电压 60° 电角度处)。从共阴极组、共阳极组来分析,各相电压正、负半周波形的交点,仍然在 30° 电角度处。不论是根据相电压或线电压去确定自然换相点,其位置都是不变的。

三相桥式可控整流电路工作时,必须有两个晶闸管同时导通(阴、阳极组中各一个),才能对负荷供电。

根据换相顺序,每隔

$\pi/3$,就有一个晶闸管换相,为了保证不换相的晶闸管可靠导通,所以必须同时为规定导通的一对晶闸管送入门极触发脉冲电流。

给晶闸管送触发脉冲电流有两种方法,如图4所示。第一种称为双窄脉冲法,第二种称为宽脉冲法。图4还表示了延迟角 $\alpha=0^\circ$ 时的输入情况。双窄脉冲法对产生脉冲的触发电路要求较高,其结构及调试都比较复杂,然而脉冲前沿较陡,所需功率较小。宽脉冲法的触发电路比较简单,调试也较容易,但脉冲前沿不宜陡峭,脉冲宽度要大于 60° ,所需功率较大。

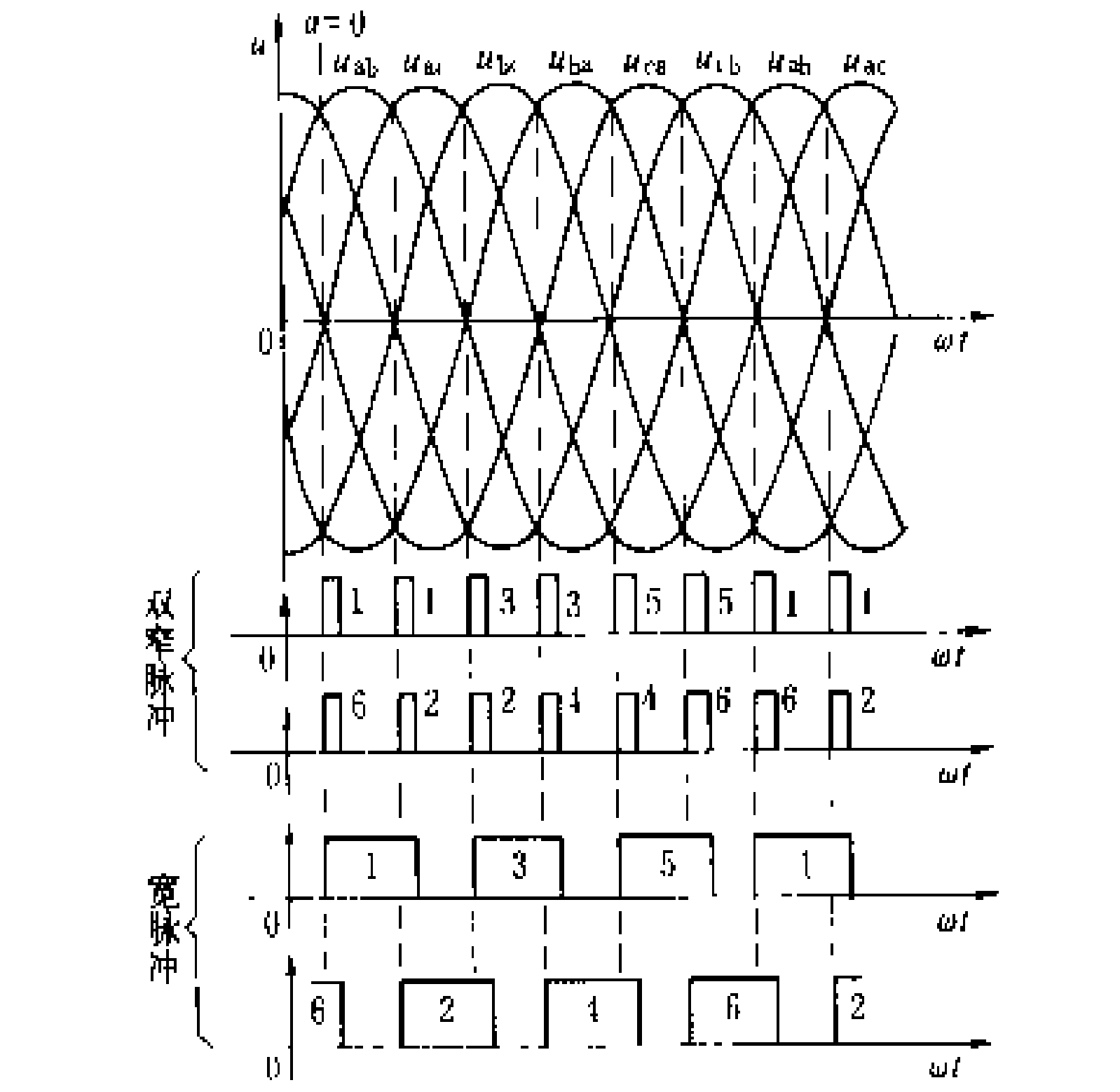


图4 送入门极触发脉冲电流的两种方法及在 $\alpha=0^\circ$ 时的输入情况

图5表示大电感负荷、不同延迟角 α 时,三相桥式可控整流电路的输出电压 u_d 的波形。在电源一个周期内,有6次脉动。

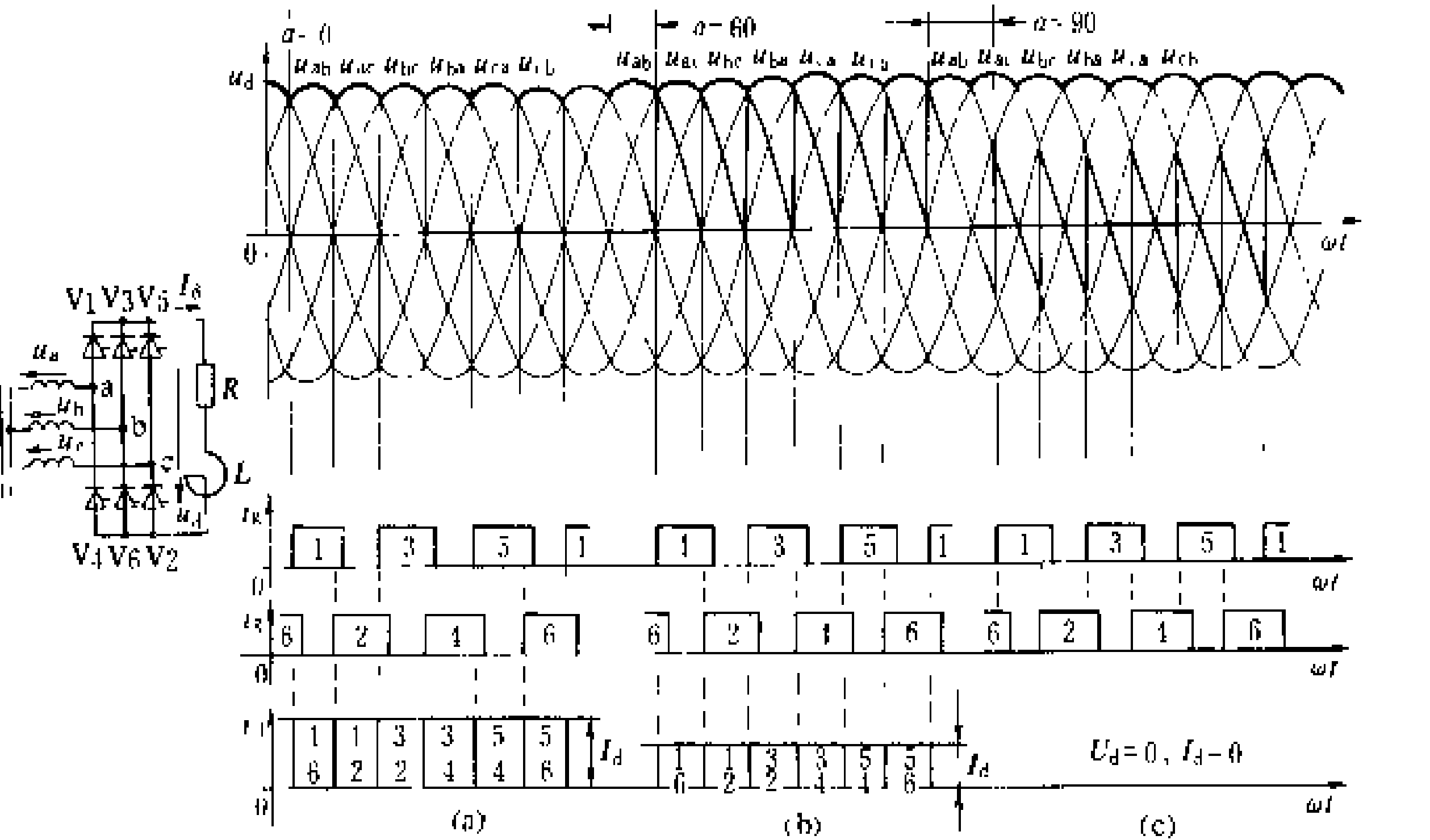


图5 大电感负荷、不同延迟角 α 时,三相桥式可控整流电路的输出电压 u_d 波形

(a) $\alpha=0^\circ$; (b) $\alpha=30^\circ$; (c) $\alpha=90^\circ$

(1) 直流平均电压:

$$U_d = \frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi}{3}+\alpha}^{\frac{2\pi}{3}+\alpha} \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d\omega t$$

$$= 1.35 U_2 \cos \alpha = 2.34 U_2 \cos \alpha \quad \text{V}$$

(2) 直流平均电流:

$$I_d = \frac{U_d}{R} = \frac{2.34 U_2}{R} \cos \alpha, \quad \text{A}$$

当 $\alpha > 60^\circ$ 时, 输出电压 U_d 的波形部分将出现负值, 这是由于电感释放磁能的缘故。 $\alpha = 90^\circ$ 时, $U_d = 0$ 。 $\alpha > 90^\circ$ 以后 U_d 总是零, 故延迟角 α 的移相范围是 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。

带平衡电抗器的双反星形整流电路

整流变压器二次侧有两组极性相反、星形连接的三相绕组, 并接入平衡电抗器 L_p 后, 如图 6 (a) 所示。 L_p 是有中心抽头的单相铁芯电抗器, 两部分匝数相等, 绕向相同, 每绕组只供给负荷电流的一半。极性相反的两组绕组可以消除整流变压器中的直流磁通势。

平衡电抗器的作用: ①平衡 I、II 组绕组中点 O 与 O' 间的瞬时电压差, 保证在每个瞬时 I、II 组绕组中各有一相和晶闸管导通, 使两相绕组能并联向负荷供电。②限制交变的环流 i_p 值, 并使负荷电流能均衡地分配到两相导通的绕组中, 每相和每个晶闸管导通时间为 $2\pi/3$ 。如果不接平衡电抗器, 每个瞬时, I、II 组绕组中哪一相电压高, 该相就和所连接的晶闸管导

通, 每相导通时间为 $\pi/3$, 于是成了六相半波可控整流电路。

图 6 还表示了带平衡电抗器的整流电路在 $\alpha = 0^\circ$ 、 $\alpha = 30^\circ$ 、 $\alpha = 90^\circ$ 时的输出电压 u_d 、均衡电压 u_p 和环流 i_p 的波形。

(1) 输出直流电压 u_d 。在电源每个周期 u_d 有 6 次脉动。根据图 6 (a) 的电路得 $u_d = u_{d1} - \frac{1}{2} u_p$, $u_d = u_{d2} + u_p$, $u_p = u_{d1} - u_{d2}$, 所以 $u_d = \frac{u_{d1} + u_{d2}}{2}$, 即在任一时刻, u_d 值等于导通的两相电压之和的一

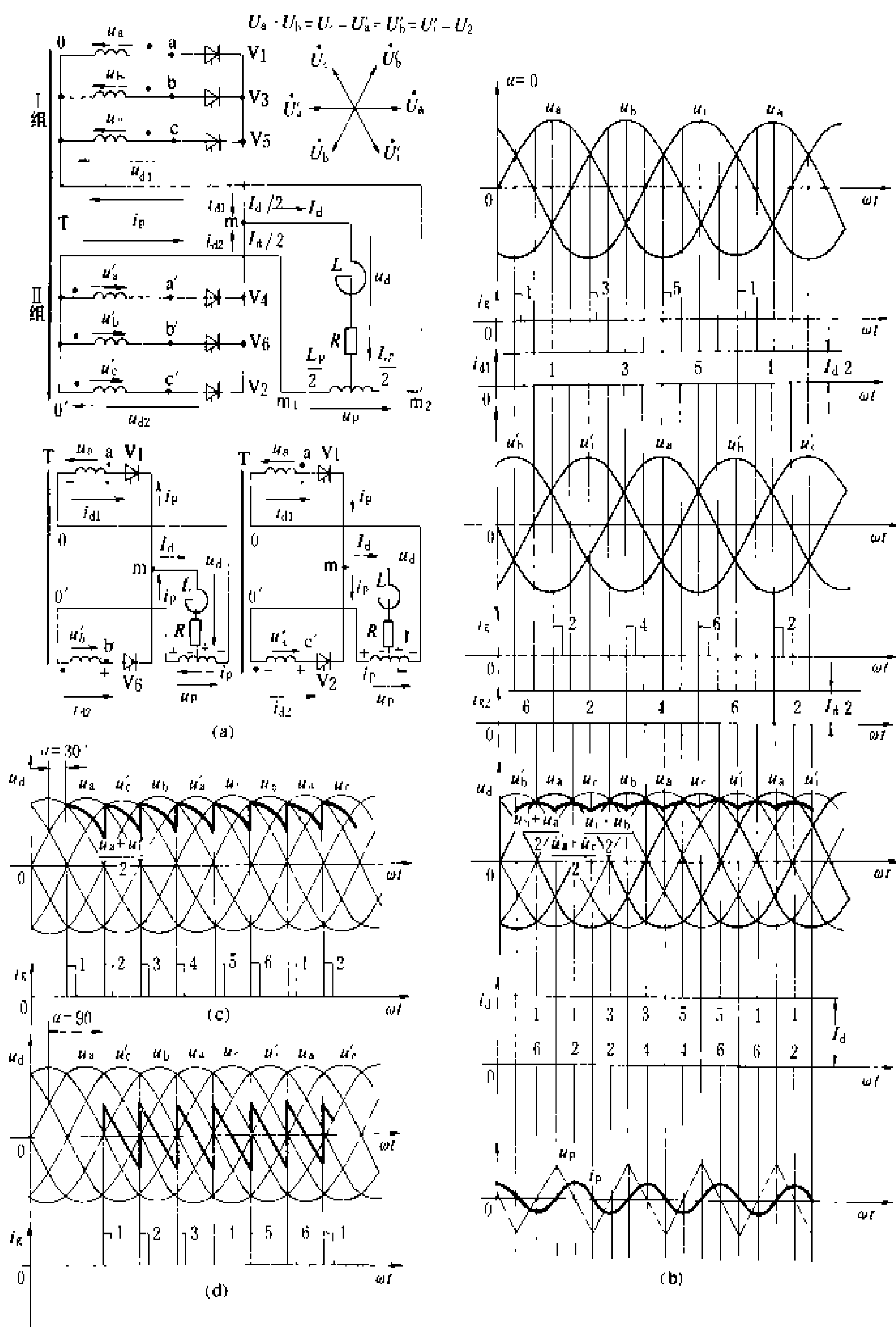


图 6 不同 α 时, 带平衡电抗器的双反星形可控整流电路的电压、电流波形

(a) 电路图; (b) $\alpha = 0^\circ$ 时; (c) $\alpha = 30^\circ$ 时; (d) $\alpha = 90^\circ$ 时

半(如 $\frac{u_{b'} + u_a}{2}, \frac{u_a + u_c}{2}, \frac{u_c + u_b}{2}, \dots$)。

(2) 均衡电压 u_p 。 $u_p = u_{d1} - u_{d2}$, 即导通两相电压之差。求 $\alpha = 0^\circ$ 时 u_p 的表达式, 需求出 u_{d1} 、 u_{d2} 在 $\alpha = 0^\circ$ 时的表达式:

$$u_{d1} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} \frac{\sqrt{2}U_2}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{8}\cos 3\omega t - \frac{1}{35}\cos 6\omega t + \frac{1}{80}\cos 9\omega t + \dots \right), V$$

$$U_{d2} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} \frac{\sqrt{2}U_2}{\pi} \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{8}\cos 3(\omega t - 60^\circ) - \frac{1}{35}\cos 6(\omega t - 60^\circ) + \frac{1}{80}\cos 9(\omega t - 60^\circ) + \dots \right]$$

$$= \frac{3\sqrt{3}}{\pi} \frac{\sqrt{2}U_2}{\pi} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{8}\cos 3\omega t - \frac{1}{35}\cos 6\omega t - \frac{1}{80}\cos 9\omega t + \dots \right), V$$

得

$$\begin{aligned} u_p &= u_{d1} - u_{d2} \\ &= \frac{3\sqrt{3}}{\pi} \frac{\sqrt{2}U_2}{\pi} \left(\frac{1}{4}\cos 3\omega t + \frac{1}{40}\cos 9\omega t + \dots \right), V \end{aligned}$$

u_p 是 3 倍于电源频率的近似三角波。

(3) 环流 i_p 。 i_p 的大小由 u_p 与平衡电抗器电抗 X_p 决定。若忽略 u_p 的高次谐波和平衡电抗器的电阻值, 可近似认为环流 i_p 是落后于 u_p 90° 的 3 倍电源频率的正弦波。

(4) 直流平均电压 U_d 。每隔 $\frac{\pi}{3}$ 换相一次, 按 $\frac{\pi}{3}$ 积分求取 U_d 。以两相电压 u_a 与 u_c (1、2 管) 导通为例, 则有

$$u_a = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t$$

$$u_c = \sqrt{2}U_2 \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{3} \right)$$

$$\begin{aligned} u_d &= \frac{u_a + u_c}{2} \\ &= \frac{1}{2} \left[\sqrt{2}U_2 \sin \omega t + \sqrt{2}U_2 \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{3} \right) \right] \\ &= \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\sqrt{2}U_2}{2} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{6} \right) \end{aligned}$$

$$\text{得 } U_d = \frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{\pi}{6} + \alpha + \frac{\pi}{3} + \frac{\pi}{3}} \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\sqrt{2}U_2}{2} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{6} \right) d\omega t$$

$$\times \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{6} \right) d\omega t$$

$$= \frac{3\sqrt{6}U_2}{2\pi} \cos \alpha$$

$$= 1.17U_2 \cos \alpha, V$$

所得直流平均电压与三相半波可控整流电路时相同, 但整流电压波形却与三相桥式可控整流电路时相似。 $\alpha = 0^\circ$ 时, $U_d = 0$ 。

(5) 直流平均电流 I_d 。 $I_d = \frac{U_d}{R} = \frac{1.17U_2}{R} \cos \alpha, A$ 各绕组及晶闸管只流过 $I_d/2$, 故本电路特别适用于作低电压、大功率的电解电源。

环形整流电路 由 6 个整流管串联构成环形整流臂, 与整流变压器二次侧双反星形绕组连接, 组成环形整流电路, 如图 7 (a) 所示。任何瞬时, I 组绕组中相电压最高的一相和 II 组绕组中相电压最高的一相, 经过相应整流臂串联后向负荷供电。 $0_1 - 0_2$ 间的瞬时电压即为输出电压 u_d 。整流变压器二次侧绕组每相端子连接两个具有单向导电性能的整流臂。如图 7 (b) 所示, 整流管只能每隔 $\frac{\pi}{3}$ 轮换一次。 I、II 组中各相绕组也只能通过单方向电流, 每隔 $\frac{2\pi}{3}$ 轮换一次。线电压换相的顺序为: $u_{ab'}$ 、 $u_{ac'}$ 、 $u_{bc'}$ 、 $u_{ba'}$ 、 $u_{ca'}$ 、 $u_{cb'}$ 。对应线电压在 I、II 组绕组中的两相绕组输出端, 通过两相

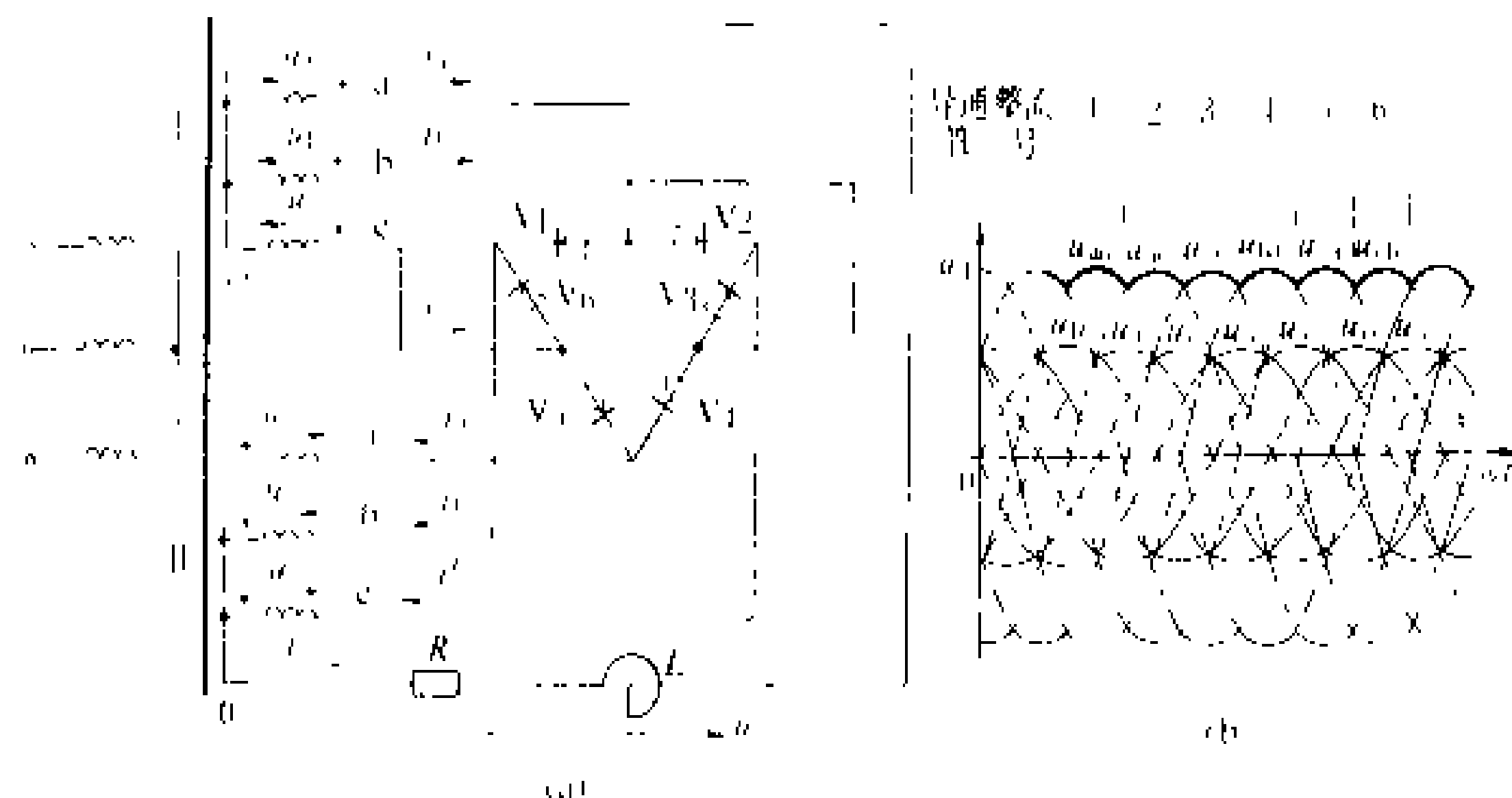


图 7 环形整流电路及输出电压波形

(a) 电路图; (b) 输出电压波形图

绕组的电流大小相等、方向相反, 因而直流磁通势互相抵消, 没有 3 次和 3 的倍数次谐波, 因而一次侧绕组不论连接成星形或三角形均可使交流磁通势得到完全平衡。

本整流电路和带平衡电抗器的双反星形整流电路比较, 区别在于: 本电路的二次侧 I 组与 II 组绕组是通过整流臂后串联工作的。绕组中的电流是负荷电流 i_d , 不存在平衡电压 u_p , 也没有环流 i_p , 因而不需要平

平衡电抗器。大电感负荷时,通过整流管的电流是幅值为 I_d 的矩形波。输出直流电压 u_d 波形、直流电压平均值 U_d 与三相桥式可控整流电路 $\alpha=0^\circ$ 时的情况相同。

十二相整流电路 广泛用于大功率电解电源,以减轻对电网的干扰,使整流后的输出电压 u_d 波形尽可能平滑。十二相整流电路又可分为桥式并联、桥式串联、带 $3f$ 和 $6f$ 平衡电抗器的双反星形等三种。

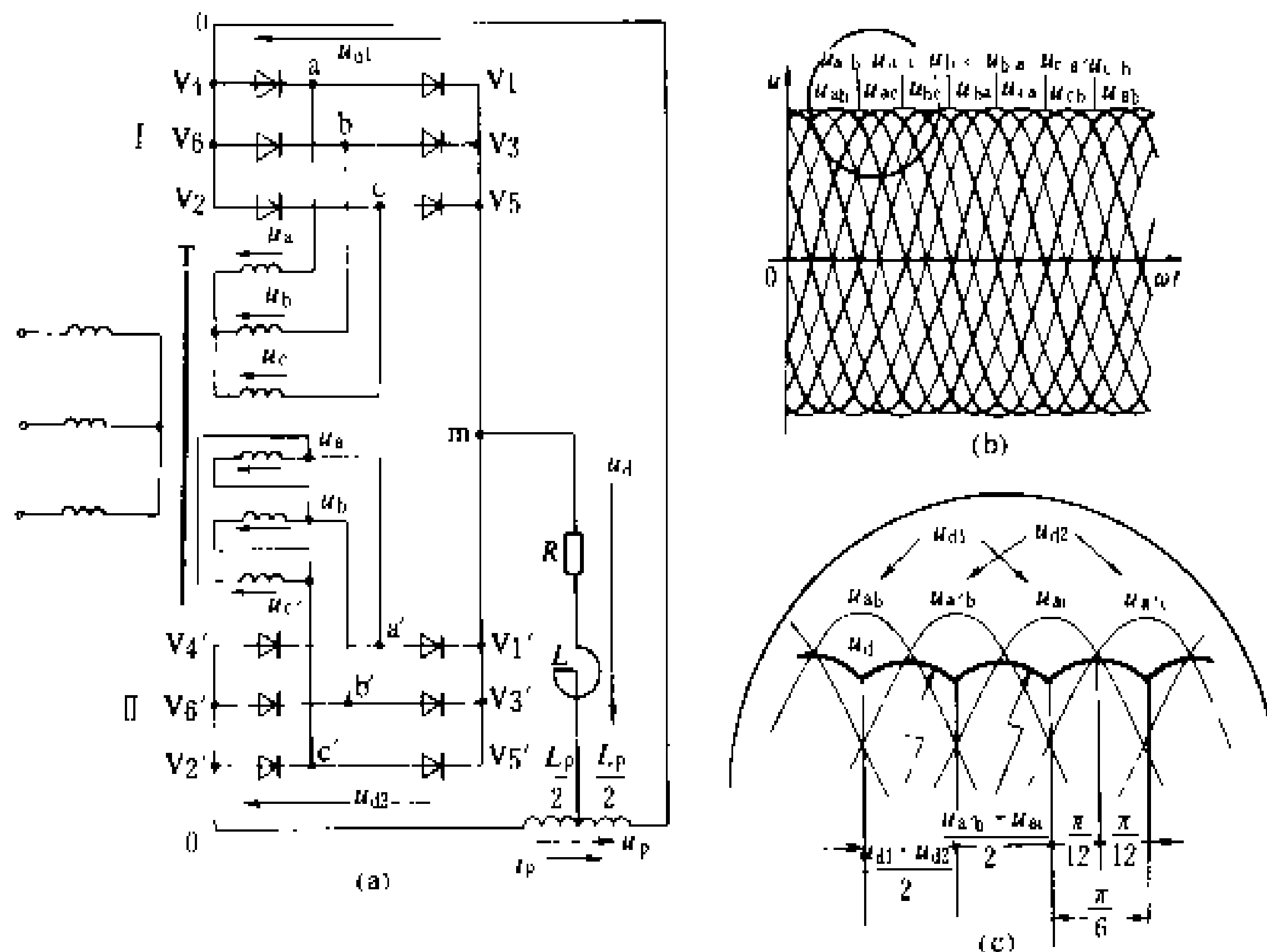


图 8 桥式并联十二相整流电路
(a) 电路图; (b)、(c) 波形及换相顺序图

桥式并联十二相整流电路 整流变压器二次侧两组绕组一为星形连接,一为三角形连接,各供给一个三相桥式整流电路,两者直流输出端共接一个平衡电抗器 L_p ,经中心抽头并联向负荷供电,如图 8 所示。

I 组桥输出电压 u_{d1} 含有线电压 u_{ab} 、 u_{ac} 、 u_{bc} 、 u_{ba} 、 u_{ca} 、 u_{cb} 相位相互隔 $\pi/3$ 。II 组桥输出电压 u_{d2} 含有线电压 $u_{a'b'}$ 、 $u_{a'c'}$ 、 $u_{b'c'}$ 、 $u_{b'a'}$ 、 $u_{c'a'}$ 、 $u_{c'b'}$ 相位也相互间隔 $\pi/3$,然而由于二次侧 I 桥绕组与 II 桥绕组的连接方式不同,使得 u_{ab} 超前 $u_{a'b'}\pi/6$,其余对应线电压类推。换相顺序见

图 8 (b)、(c)。

输出直流电压 $u_d = \frac{u_{d1} + u_{d2}}{2}$ 的原理与带平衡电抗器的双反星形整流电路相同,在每个电源周期内, u_d

有 12 次脉动。输出电压平均值与三相桥式整流电路 $\alpha=0^\circ$ 时相同,即 $U_d = 2.34U_2$ 。

平衡电抗器的均衡电压 $u_p = u_{d1} - u_{d2}$,是 6 倍于电源频率的三角波。环流 i_p 是平衡电抗器的励磁电流,设计此值较小,可视为纯电感电流,也是 6 倍于电源的频率。

桥式串联十二相整流电路

如图 9 (a) 所示,整流变压器二次侧两组绕组各为星形和三角形连接,对应线电压彼此相位相差 $\pi/6$,使三角形连接的各组电压有效值大于星形连接的各相电压有效值 $\sqrt{3}$ 倍,则两者线电压有效值相等。

I 组桥有线电压 u_{ab} 、 u_{ac} 、 u_{bc} 、 u_{ba} 、 u_{ca} 、 u_{cb} ,其输出电压 u_{d1} 由这些电压组成。II 组桥有线电压 $u_{a'b'}$ 、 $u_{a'c'}$ 、 $u_{b'c'}$ 、 $u_{b'a'}$ 、 $u_{c'a'}$ 、 $u_{c'b'}$,其输出电压 u_{d2} 是由这些电压组成。两桥串联后输出直流电压 $u_d = u_{d1} + u_{d2}$,在电源一个周期内 u_d 有 12 次脉动,适于用作高电压电解电源。

两个桥各自独立地按顺序换相,互不干扰,任何瞬间每个桥都有两个整流管导通,两个桥共有 4 个整流

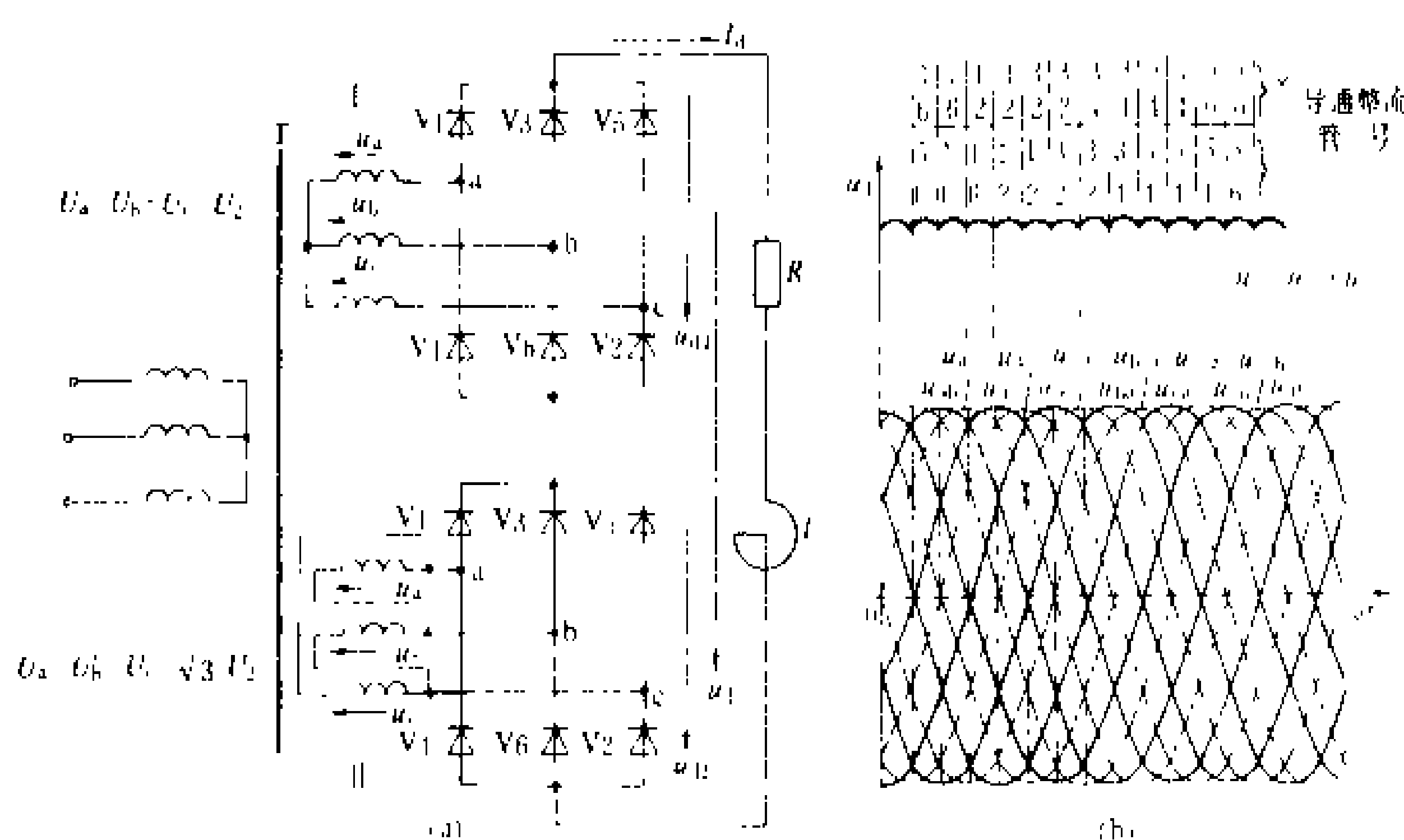


图 9 桥式串联十二相整流电路
(a) 电路图; (b) 波形图



管同时导通，具体情况如图 9 (b) 所示。每个整流管在 $2\pi/3$ 期间所流过的电流皆为负荷电流 i_d 。

带 $3f$ 和 $6f$ 平衡电抗器的双反星形十二相整流电路 对于低电压、大功率的电解电源，常采用这种接线方式，如图 10 所示。两台整流变压器，一次侧绕组分别接成星形和三角形，主要是使二次侧绕组对应的相电压彼此移相 $\pi/6$ 。

对于二次侧两组双反星形整流电路，其输出直流电压 u_{d1} 和 u_{d2} 在电源一个周期内各有 6 次脉动，故采用 3 倍于电源频率的平衡电抗器 L_{p3f} 。上述两组整流电路再并联，成为十二相整流，所以采用 6 倍于电源频率的平衡电抗器 L_{p6f} 来承受均衡电压 u_p 。

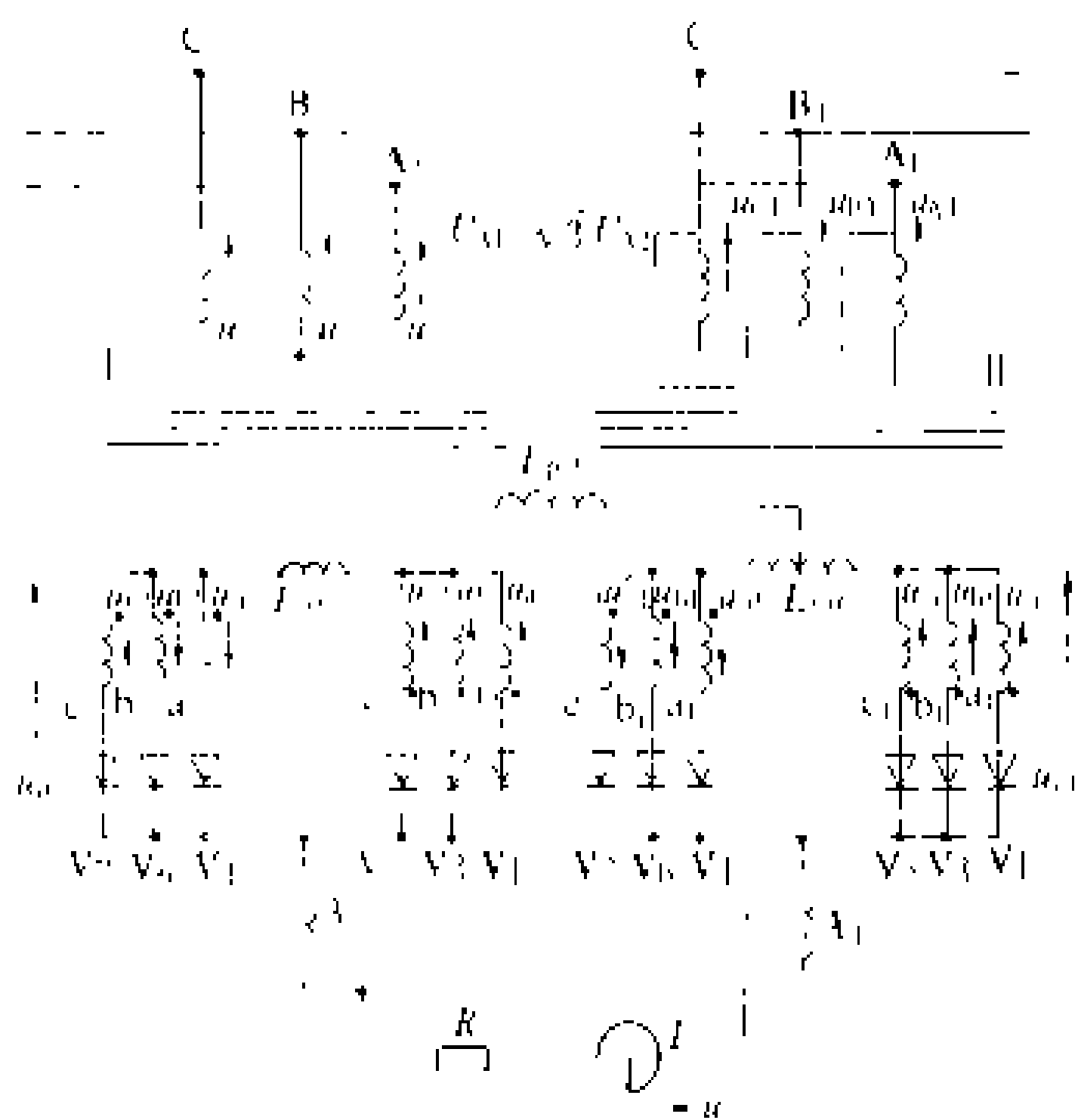


图 10 带 $3f$ 和 $6f$ 平衡电抗器的双反星形十二相整流电路

输出电压 u_d 的波形与桥式并联十二相整流电路相同。

在电解工业中，大功率电源还广泛采用以上述整流电路为基础组成的 18、24、36、48 相等多相整流电路，以达到电解所要求的技术和经济指标。

参考书目

沈阳铝镁设计研究院电力室编，硅整流所电力设计，北京：冶金工业出版社，1983
张永生主编，电力半导体电路原理，北京：机械工业出版社，1986

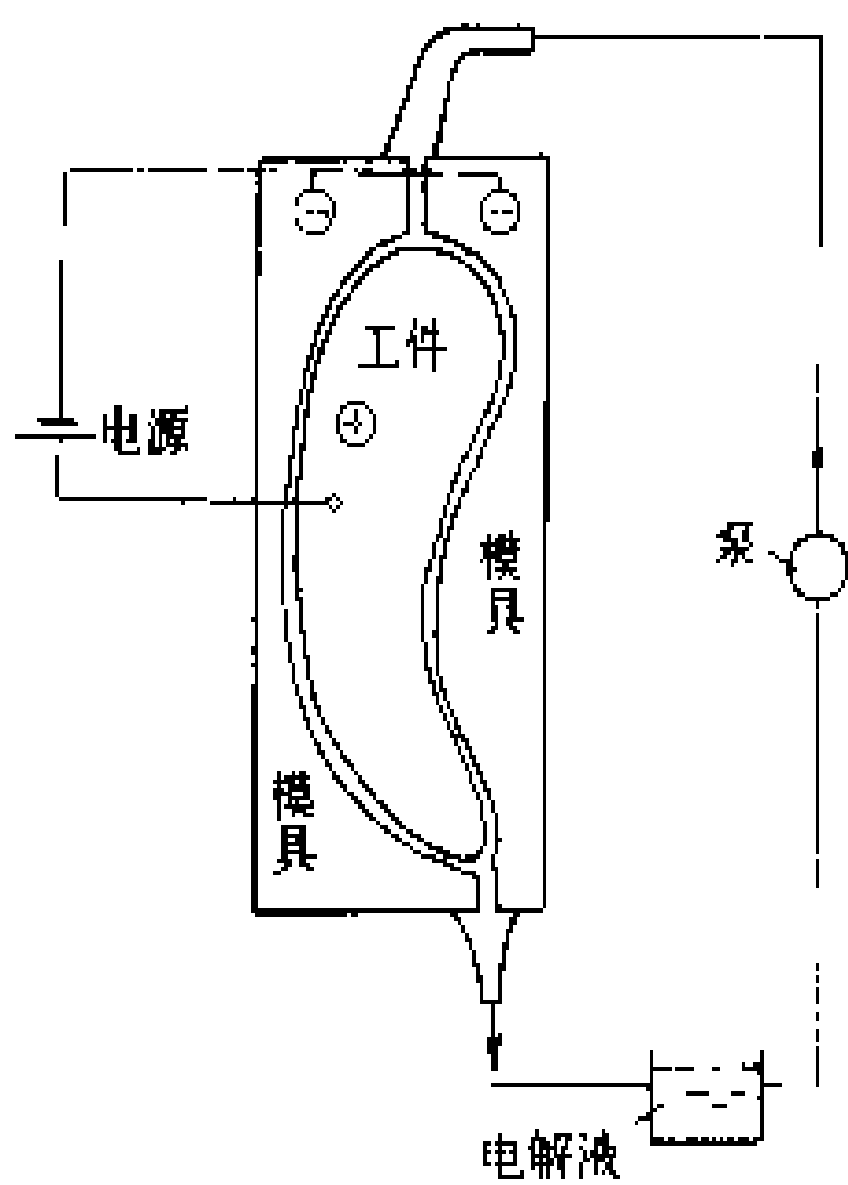
(张永生)

dianjie jiaogong

电解加工 (electrolytic machining) 利用电解原理使金属工件电溶解，进行尺寸加工的技术。电解加工适用于制造较难加工的硬、韧材料，如钛、耐热合金钢、不锈钢、硬质合金钢等的零件，形状复杂的

型面和型腔，如叶片、锻模、膛线、方孔、刻印版、去毛刺等。

电解加工的原理见图。以被加工金属工件为阳极，以按所需形状、尺寸制作的金属工具模为阴极，以被加工件金属盐的水溶液为电解液，通直流电进行电解。阳极固定不动，移动阴极，在两极之间始终保持一狭小的距离，使电解液(工作液)以高速度在两极间狭小



电解加工原理示意图

的间隙中流过，冲刷掉工件上因电溶解形成的腐蚀层，获得与工具模型形状和尺寸一致的成品工件。大电流电解和电解液高速循环是电解加工的特点。电解加工的优点是加工速度快，加工面的光洁度高，不会在加工件上产生热变形和裂纹，并且几乎没有工具磨损问题。

电解加工的反应过程比较复杂，其电解液成分、工艺参数随工件材质不同而有很大变化。一般电解工作电压为 $6\sim 24\text{ V}$ ，电流密度为 $10\sim 100\text{ A/cm}^2$ ，加工间隙为 $0.1\sim 0.8\text{ mm}$ ，电解液流速为 $5\sim 6\text{ m/s}$ 。

(马荫华)

dianjie zhengliusuo

电解整流所 (rectifier station for electrolysis) 安装整流器及其辅助设施，供给电解所需直流电源的场所。小型电解所需的直流电源功率不大，往往在电解槽附近，或间隔开的房间内，安装成套的整流器即能满足电解生产的需要。大、中型电解所需的直流电源功率从数千千瓦至数十万千瓦不等，需要设置专门的整流所来供应。整流所多由高、低压变配电设备、整流器、直流开关设备及其他辅助设备组成。在以电解直流负荷为主的企业中，常常把企业的总降压变电所和整流所设置在一起，既供电解用直流电源，又是企业的交流电力配电中心。这样投资较省，运行管理方便，占地少，也减少了值班人员。

电解整流所设计应注意的主要问题有：选定电源，选择电压，确定交、直流供电系统接线，选择整流器，谐波抑制和功率因数补偿，以及整流所的位置和配置等问题。这些问题不是孤立的，相互之间有程度不同的影响，需要综合考虑。

选定电源 一般的电解整流所负荷不大，对供电可靠性的要求不高，事故停电只影响产量，不会构



成对生产设备的破坏,不会产生安全问题。但铝电解、镁电解整流所和锌电解整流所则不同。铝、镁电解整流所停电时间过长将导致电解槽的破坏,需要长时间停产大修,给生产和经济造成重大损失。锌电解整流所停电之后,将造成电解槽内电锌返溶,产生氢气,若遇火花将引起爆炸。因此,对铝、镁电解整流所要求有两个独立电源,当一个电源事故停电时,另一个电源能继续供电以保证生产。对锌电解整流所则要求有应急电源,其容量以不构成电解返溶为前提。当然也可采取其他措施,如排出氢气等。

电压选择与电压调节 主要考虑确定交流侧电压及直流电压的选择和调节。

交流侧电压 为减少变压器重复容量、提高效率、减少投资,应以企业的受电电压为整流变压器的一次侧电压。按国家标准,现行电压为6, 10, 35, (66), 110, 220 kV, …。但当受电电压很高,如220 kV及以上时,应对采用直接降压还是采用两次降压作仔细的技术经济比较。

在确定整流器一次交流受电电压时,还应考虑到电解厂的发展扩建问题。

直流电压选择与电压调节 直流电压、电流和直流电压的调节范围都是根据生产工艺要求确定的。电解直流电压从数伏起可达到1200 V,调压范围有的竟要求为0~100%。调压的方式和手段也比较多。以二极管为整流元件的硅整流器,可用调压变压器和饱和电抗器调压。前者为粗调,后者为细调。以晶闸管为整流元件的硅整流器,可以用控制晶闸管的导通时间来调压。由于各种电解槽在正常生产条件下的电流-电压特性都不一样,企业分期投产时也有特殊的调压要求,因此,需要在整流器第三绕组或中间绕组改接抽头以解决大范围分段调压问题。

由于大功率晶闸管制造技术上的进步,触发技术的发展,使得硅整流器的直流调压方式取得了很大发展。电解用单台硅整流器,无论在容量上还是在调压性能上,都基本上能满足要求。

降压和调压的技术方案不同,可导致设备结构及其复杂程度不同,使设备的造价差异很大,在运行、维护的可靠性和方便程度上也很不一样,是值得深入研究的重要问题之一。

确定交、直流供电系统接线 一般中、小型电解整流所中,整流器容量不大或数量不多,整流变压器高压交流侧多采用单母线接线。但大型整流所,特别是对供电可靠性要求高、不间断供电要求严格的大型整流所,整流变压器交流侧则多采用双母线接线,当一条母线故障或检修时,由另一条母线带全部负荷运行。

直流母线的正、负母线都是单母线,大型整流所有数台大型整流器并联,总电流(即电解系列电流)可达160~180 kA,考虑到整流器检修和轮换运行的要求,每一台整流器的直流侧都装有直流开关(最大到60 kA),与主直流正、负母线相连接。

图1为年产10万t锌电解厂整流所供电系统图(部分)。整流所内装两台大功率晶闸管整流器。单台直流输出电流为40 kA,直流电压725 V。交流一次侧受电电压为220 kV,通过降压变压器(220/22 kV)与整流变压器[22/(0.669~0.306) kV]串联供给晶闸管整流器。22 kV还接滤波器。整流变压器的22 kV绕组装有D, y无负荷转换开关,供调节直流输出电压之用。整流器为三相全控桥式电路,第一台整流变压器接线移相+15°,第二台移相-15°,两台整流器同时运行构成12相整流电路。晶闸管整流器主要特点是调压方便、效率高。

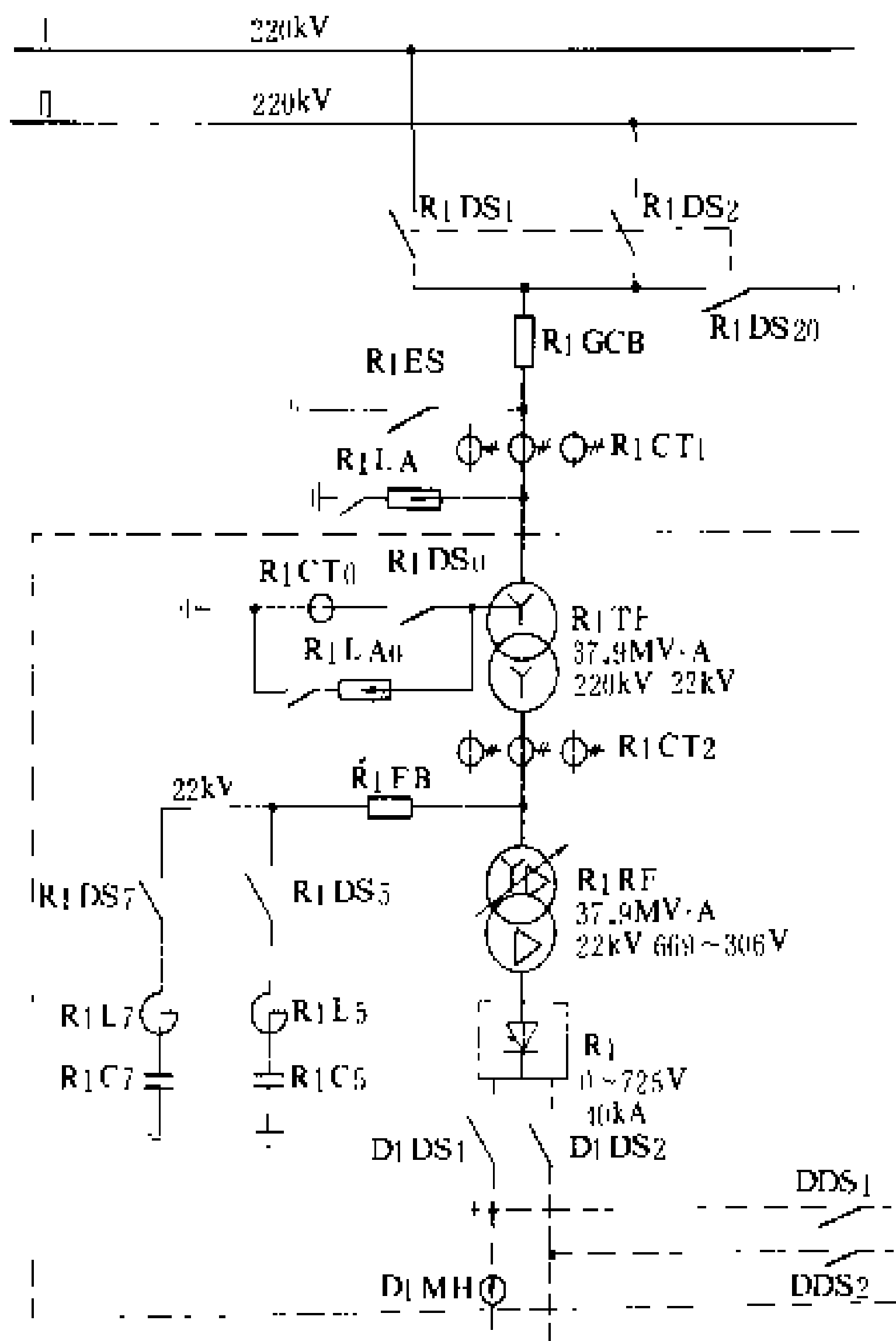


图1 年产10万t锌电解厂
整流所供电系统图(部分)

图2为年产铝7.5万t的铝厂的供电系统(部分),采用110 kV直降式装置,电解系列电流160 kA,电解系列电压最高为850 V。整流器为同相逆并联接线。单台整流器电流55 kA,变压器容量约为50 MV·A,单台整流器形成12相,即阀侧绕组的两组绕组为星形接线,另两组为三角形接线,并接成同相逆并



联。为了使3次谐波电流和110 kV侧单相接地故障时的零序电流能通过，将第三调压绕组接成延长三角形接线（装于桥臂上的饱和电抗器未示出）。

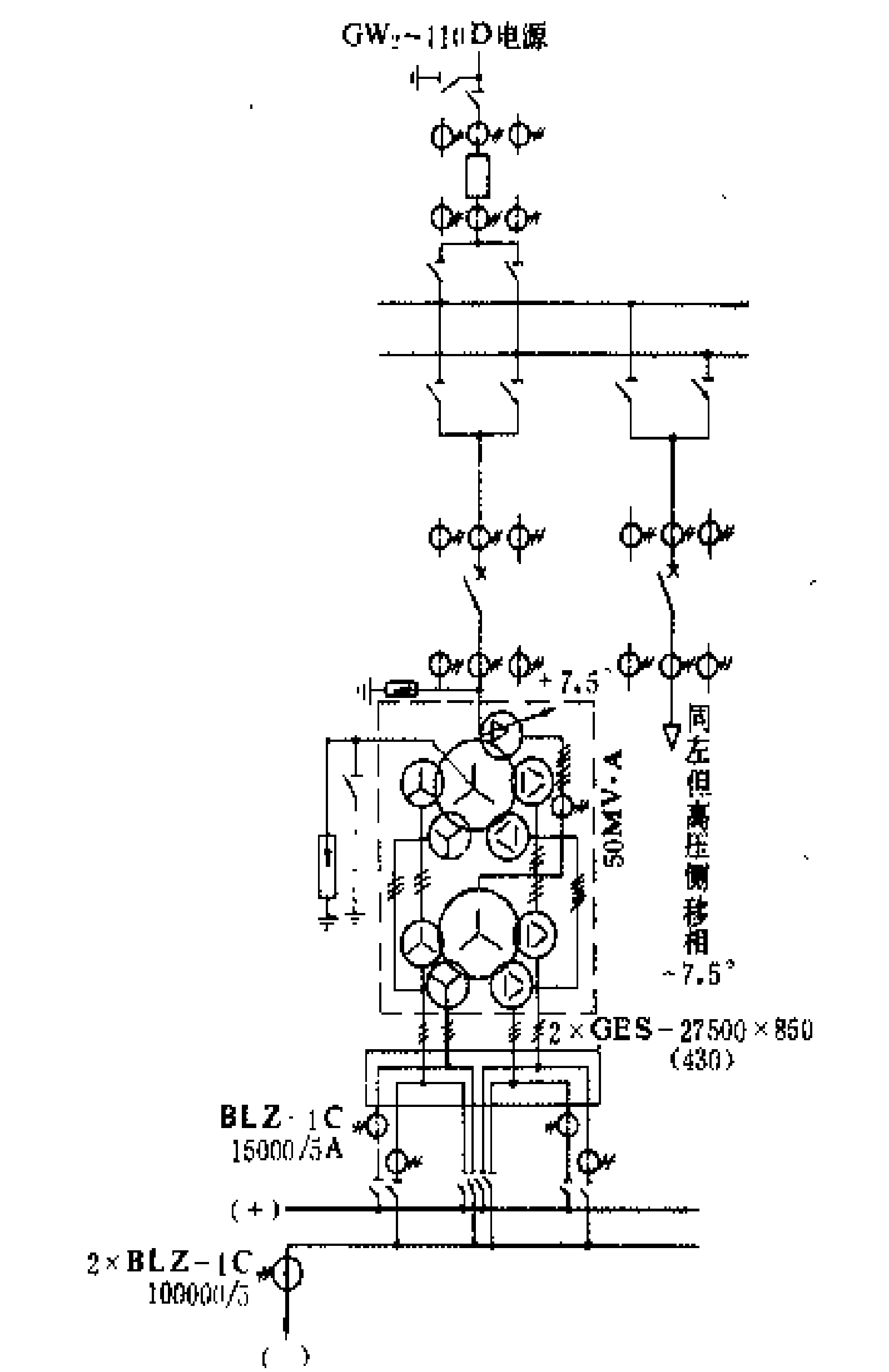


图2 年产铝7.5万t铝厂供电系统图（部分）

整流器的选择 选择整流器时应注意：①在数量上和容量上都能满足生产工艺的要求；②能获得较好的电流效率；③能节约投资。另外在大型整流所中应有备用整流器（正常带电备用），以保证生产。在大型整流所中由于采用多台整流器并联运行，整流器间电流分配有差异，所以多台整流器额定容量的代数和应大于电解系列电流10%左右。当然，整流器台数的选择还应尽可能使整个整流所形成较高的整流相数，以减少高次谐波对电力网的影响。（见硅半导体整流器）

谐波抑制和功率因数补偿 电力系统对谐波和功率因数的要求都有规定，在选择大型整流器时，减少交流侧电压波形畸变是要解决的主要问题之一。在选择和确定抑制谐波的滤波装置时，要考虑兼有补偿无功功率的功能。（见整流器谐波）

整流所的位置和配置 大、中型整流所的位置对企业的经济、安全运行关系极大。整流所靠近交流电源、接近直流负荷，对节约有色金属和减少电能损耗都有重大意义。远离污染源并在其上风向，能减少整流所的维修工作量，保证其安全运行，为电解生产的连续运

行创造必要的条件。

整流所不仅在电气设备和整流器的配置上应力求合理，而且要从建筑，采暖通风，上、下水道等方面追求综合效益，以期达到减少投资、缩小占地面积、节省有色金属、方便施工等目的，并对安全运行、减少电能损耗、减少维修工作量和延长维修周期起着重要作用。

参考书目
 沈阳铝镁设计研究院电力室编，硅整流所电力设计，北京：冶金工业出版社，1983

（叶佩珍）

dianjie zhiliu dianyuan
电解直流电源 (electrolytic DC source)

在电化学工业中，金属和非金属的电解精炼和提取、电解加工等都离不开直流电源。直流电源设备从最早的电池发展到今天的半导体整流器，变化极大。因工艺要求不同，直流电源电压从数伏到1200V，电流从数十安至300 kA，功率从数十千瓦至数十万千瓦不等。低电压、大电流、大功率是电解直流电源的一大特点，因此也给整流设备的整流器件、整流电路、冷却系统和调压、可靠性等带来一系列问题。此外，现代硅半导体整流器是谐波发生源，大型整流器对电力网的谐波影响更大，抑制谐波是必须注意的问题。

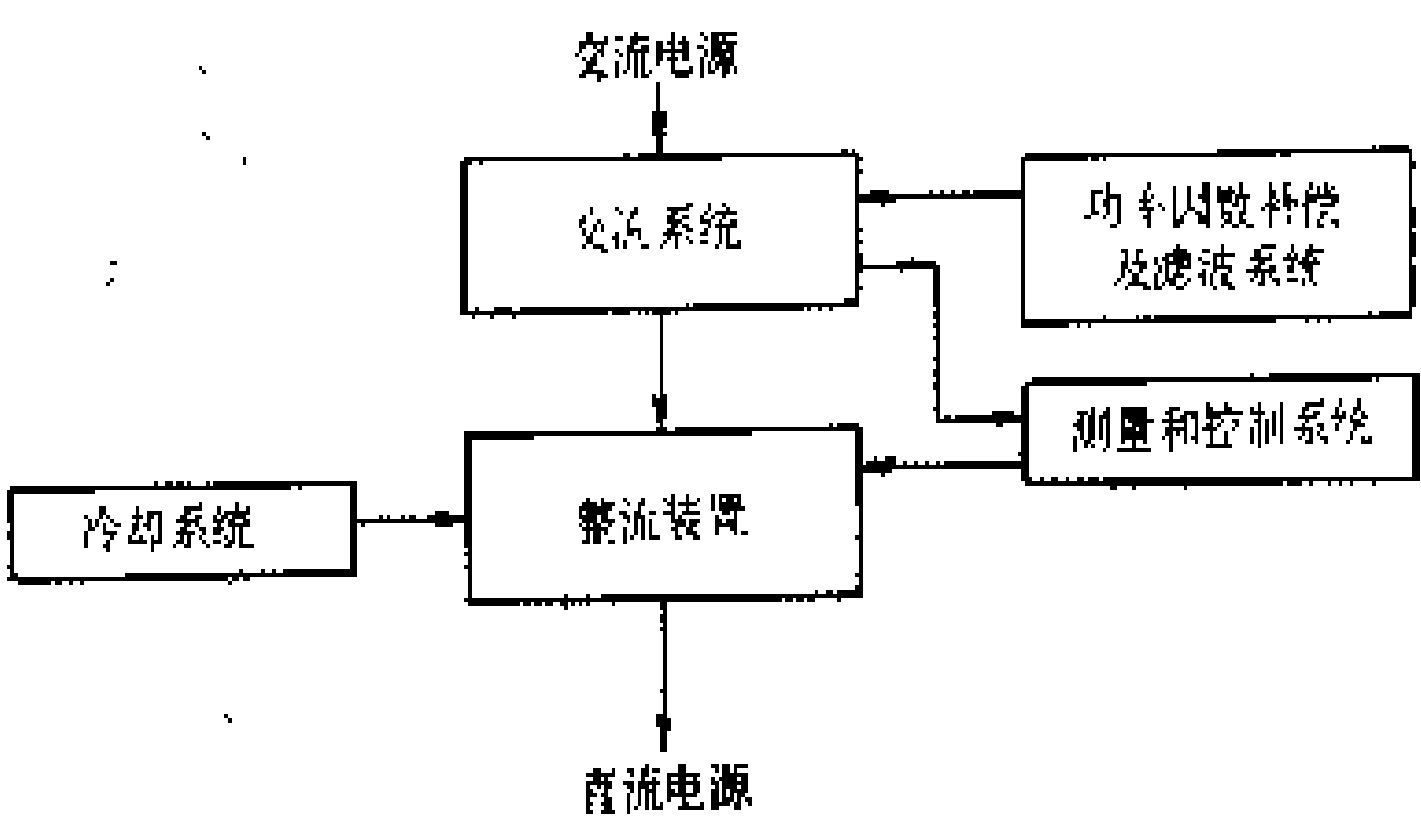
简史 最早的直流电源是电池，功率小，价格昂贵，不适用于工业。1870年，直流发电机的发明大大促进了电化学工业的发展。1902年发明了玻壳汞弧整流器，1911年发展为铁壳汞弧整流器。与直流发电机组相比较，汞弧整流器单机容量大、反应速度快、效率高和体积小，因而在电解领域中很快得到推广和应用，并在一定范围内代替了直流发电机组。汞弧整流器的主要缺点是汞污染。1940年以后，机械整流技术有所发展。50年代初，瑞士和联邦德国先后制造出了供电解用的旋转式机械整流器，并立即投入了使用。机械整流器的优点是：机组效率高、单机容量大，与汞弧整流器比较没有汞污染；其缺点是维护复杂、检修频繁、机械噪声大、对交流电源频率变化的要求严格，因而其使用受到限制，不久即被淘汰。1956年，单结PN结锗整流管研制成功，紧接着耐温更高、内阻更小的硅整流二极管出现。1958年，美国通用电器公司PNPN结晶闸管问世。硅整流管和晶闸管同时迅速向高电压、大电流、大功率方向发展。硅整流管的参数：电流5000 A、反向峰值电压6000 V；晶闸管的参数：电流3600 A、电压6500 V。由这些器件构成的成套硅整流器得到极为广泛的应用。

硅整流器和直流发电机、汞弧整流器及机械整流器相比较，优点是效率高、体积小、功率大、寿命长、



快速响应性好、维护方便、检修工作量大、没有汞污染。近年来晶闸管整流技术更加成熟，已能适应在电解生产过程中采用计算机控制和管理需要，成为当代理想的电解直流电源设备，基本上取代了其他一切整流设备。

硅整流器 大、中功率硅整流器电解直流电源主要由交流系统、整流系统、测量和控制系统、冷却系统、功率因数补偿和滤波系统组成，统称整流器(见图)。交流系统包括开关设备、整流变压器等。整流系统是指整流管或(和)晶闸管等器件组成的整流装置。冷却系统是指整流装置的冷却装置。测量和控制系统由监测仪表和控制装置组成，主要用来测量和控制整流器的电参数。功率因数补偿和滤波系统主要由电容器、电抗器等组成，用来改善整流器的电气性能。(见硅半导体整流器)



电解直流电源（整流器）系统组成图

整流电路 从控制和电压调节的观点来说，整流器的整流电路可分为三类：不可控、全控和半控。采用不可控整流电路的硅整流器全部采用硅整流管，直流输出电压与交流输入电压保持固定的比例关系，调节输入的交流电压可实现直流电压的调节。采用全控整流电路的硅整流器全部采用晶闸管，调整晶闸管触发的延迟角 α ，可控制直流电压的大小和极性。采用半控整流电路的硅整流器中晶闸管与硅整流管各占一半，其整流特性与采用全控整流电路的基本相似，主要区别是不能逆变。(见电解电源整流电路)

谐波 硅整流器接入电力网后，由于整流器件换流和晶闸管控制等因素，导致向电力网“注入”谐波电流。谐波电流与电力网阻抗构成谐波电压降，造成电力网电压正弦波形畸变。如果畸变率超过一定限值，将威胁电力网和用户电气设备的安全运行。为此，在设计电解直流电源时，必须采取措施解决或降低波形畸变率。(见整流器谐波)

(钟授利)

dianjiezhi

电解质 (electrolyte) 通常指由某种物质溶解于特定溶剂并能电离成带正、负电荷的离子，因而

能导电的介质。最常见的电解质为酸、碱、盐的水溶液，称为水溶液电解质。根据其电离度的大小，可分为强电解质和弱电解质。有些盐类物质，在熔融状态也具有电解质的性质。例如，生产金属钠用的纯氯化钠熔体和生产铝用的熔有三氧化二铝的水晶石熔体，称为熔盐电解质。还有一些盐类物质，即使在固态时也是电解质，例如碘化银，称为固体电解质。

(马荫华)

diankafeihu

电咖啡壶 (electric coffee maker) 制备咖啡饮料的厨房器具。通常使用的电咖啡壶主要有三类：渗滤式、泡式和滴式。

渗滤式咖啡壶 典型的渗滤式咖啡壶从外观看很象一只普通的茶壶。壶体下部有一隔断的空间。隔断层的中心做出一个小“井”，井底封死。沿小井四周排布着主加热器(即主电热元件)，离小井稍远一点，装有保温元件。主加热器与保温元件之间装有一个恒温器。壶体正中心有提液管，管下端的进水阀直插入井里，管上端则穿过咖啡粉篮，直至篮子顶端(图1)。

在制备咖啡饮料时，主加热器很快将提液管底部的水加热至沸腾，产生少量蒸汽。这些蒸汽与提液管里的水混合，将其加热并提升，从提液管的上端流出，再分散流过分散器上的许多小孔，滴入咖啡粉篮，渗过咖啡粉，最后经过咖啡粉篮底部的

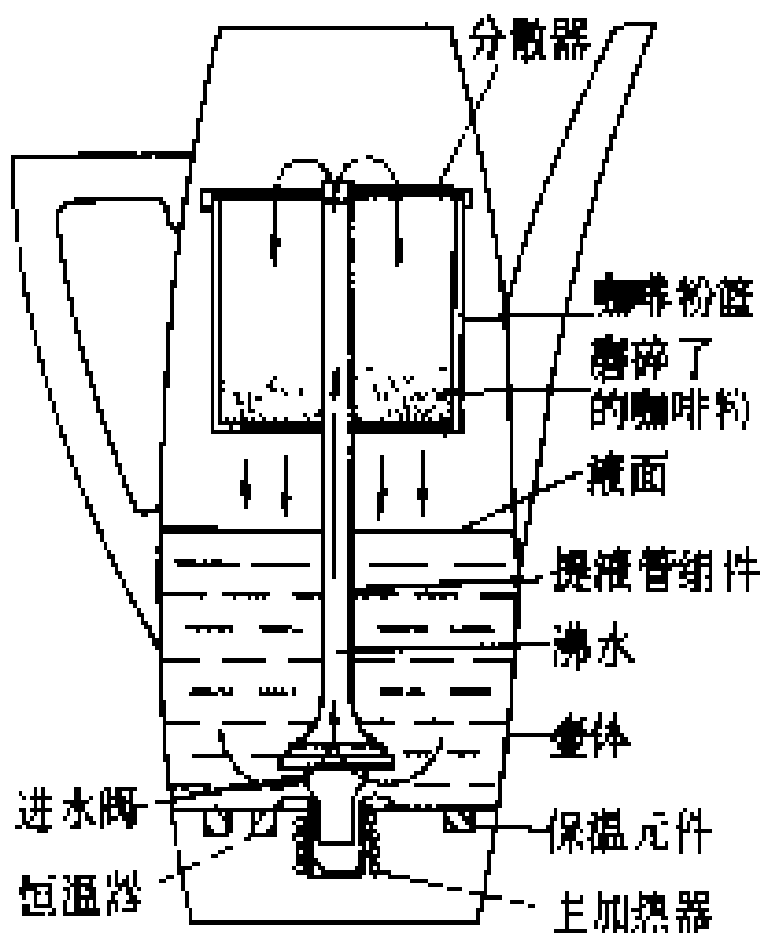


图1 渗滤式咖啡壶结构

细孔被过滤后流回到壶体里。当蒸汽将提液管中的水顶升时，提液管里即产生压力降。这个压力降就使处于大气压下的壶中水可以穿过进水阀上的小孔进入提液管组件。这些新补充进来的水又再次被主加热器加热、沸腾并形成蒸汽，又重复着上述提液、分流、渗漏、过滤的循环过程。壶中凉水在这种连续不断的循环中渐渐被加热升温。壶体下部的恒温器能感知壶中液体的温度。当恒温器感知壶中液体温度达到80~90℃时，恒温器的双金属片即会使电触点断开，切断主加热器的电流。与此同时，它还使保温元件通电，将壶中咖啡液保持在高温(但却不能继续发生上述循环)。如果在渗滤循环中水过热，就会因为渗滤时间较长而引起咖啡味过苦。如果水不够热，即在渗滤终结前恒温器定温过低，将使流经咖啡粉的水量不足，造成咖啡味道太

淡。咖啡味道的浓淡利用渗滤循环时间的长短来控制，而这个时间周期由壶中的水温来控制，水温则又由恒温器决定。调节味道控制杠杆，便可调节恒温器，从而调节渗滤循环周期，因此也就调节了咖啡味的浓淡。

渗滤式咖啡壶的主加热器功率在 500~1500 W 之间，直接围绕着小井安设。保温元件安装形式可以多样，功率为 100 W。实际保温时功率在 25~100 W 之间。

泡式咖啡壶 又称真空式咖啡壶（图 2），在其下部有一加热器，其电热元件有不同的排列与接线方式。加热器上方是下壶体，常以搪瓷、不锈钢或铝合金制作。下壶体中心是提液管，该管是上壶体的一部分。上

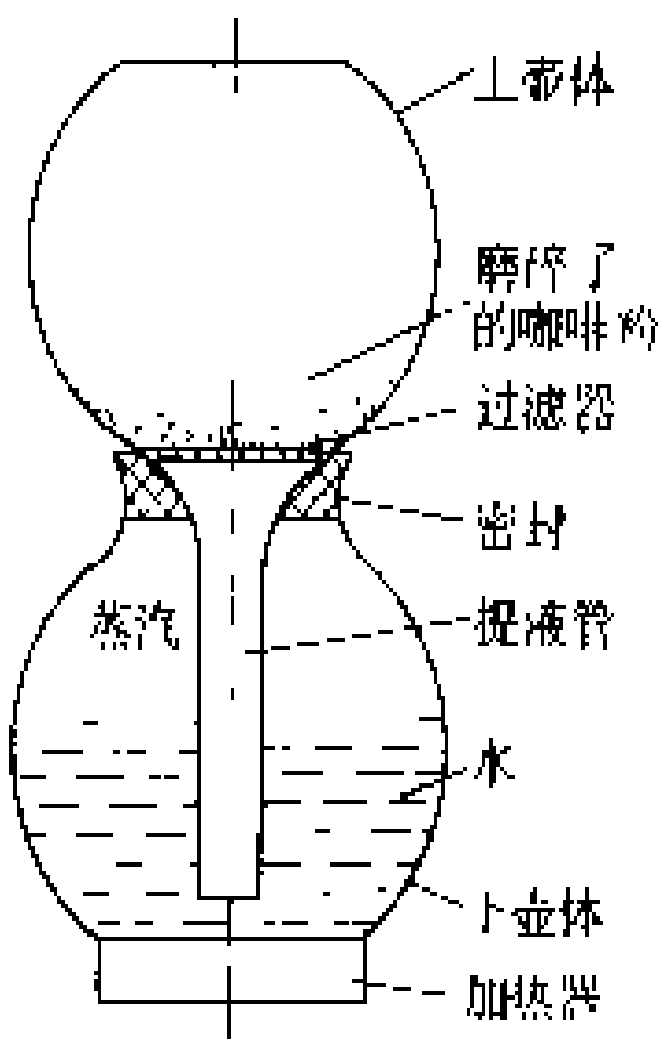


图 2 泡式咖啡壶结构

壶体安装在下壶体上部，两者之间有密封结构。在上壶体进入提液管处装有过滤器，可以是玻璃或布的，也可以是纸或金属的，但无论何种过滤器均应便于清洗，纸或布质的要便于更换。

在制作咖啡饮料时，下壶体里的水被加热升温直到沸腾。随着下壶体密封空间里蒸汽的增多，压力也增大，便将沸水由下壶体经提液管压到上壶体中。连续加热的结果，使水不断汽化，沸水不断被压到上壶体，下壶体里水越来越少。最后，下壶体里的水几乎全部被提升到上壶体里，剩下的差不多只有蒸汽。此时，加热器里的高热元件断电，仅有低热元件通电发热。于是，下壶体开始冷却，蒸汽逐渐凝聚为水。沸水在上壶体里时浸泡着的咖啡粉，已变成咖啡液。由于下壶体内此时已形成负压，咖啡液便在重力和真空吸力的作用下经提液管流回到下壶体里。这些液体在流经过滤器时被很好地滤去了咖啡渣子和粉末。下壶体里的咖啡液被低热元件保持在饮用温度，随时可以倒出饮用。

滴式咖啡壶 自动型滴式咖啡壶能在不到 7 min 的时间内制备 2~8 杯咖啡。上部贮水器供贮冷水用，上面有盖，揭开后即可注水（图 3）。贮水器下部有一水管，冷水可以靠重力从中直接流到内槽加热器（也有的机种使冷水经此由微型泵注入加热器）。内槽加热器是在一个细长空心圆锥管中装上螺旋形管状电热元件，通电后迅速发热，使锥管里的冷水升温至沸腾，所生成的蒸汽便推动沸水顺垂直细管上升，由喷嘴喷出。这些热水均匀喷洒在一只圆锥形漏斗里。漏斗上预先垫好过滤纸，纸上装有咖啡粉。喷嘴喷洒的热水流过咖啡粉即成为咖啡液。再渗过过滤纸滴入下部的玻璃器

皿里。在玻璃器皿下还设有保温板，可将制好的咖啡液保持在饮用温度。

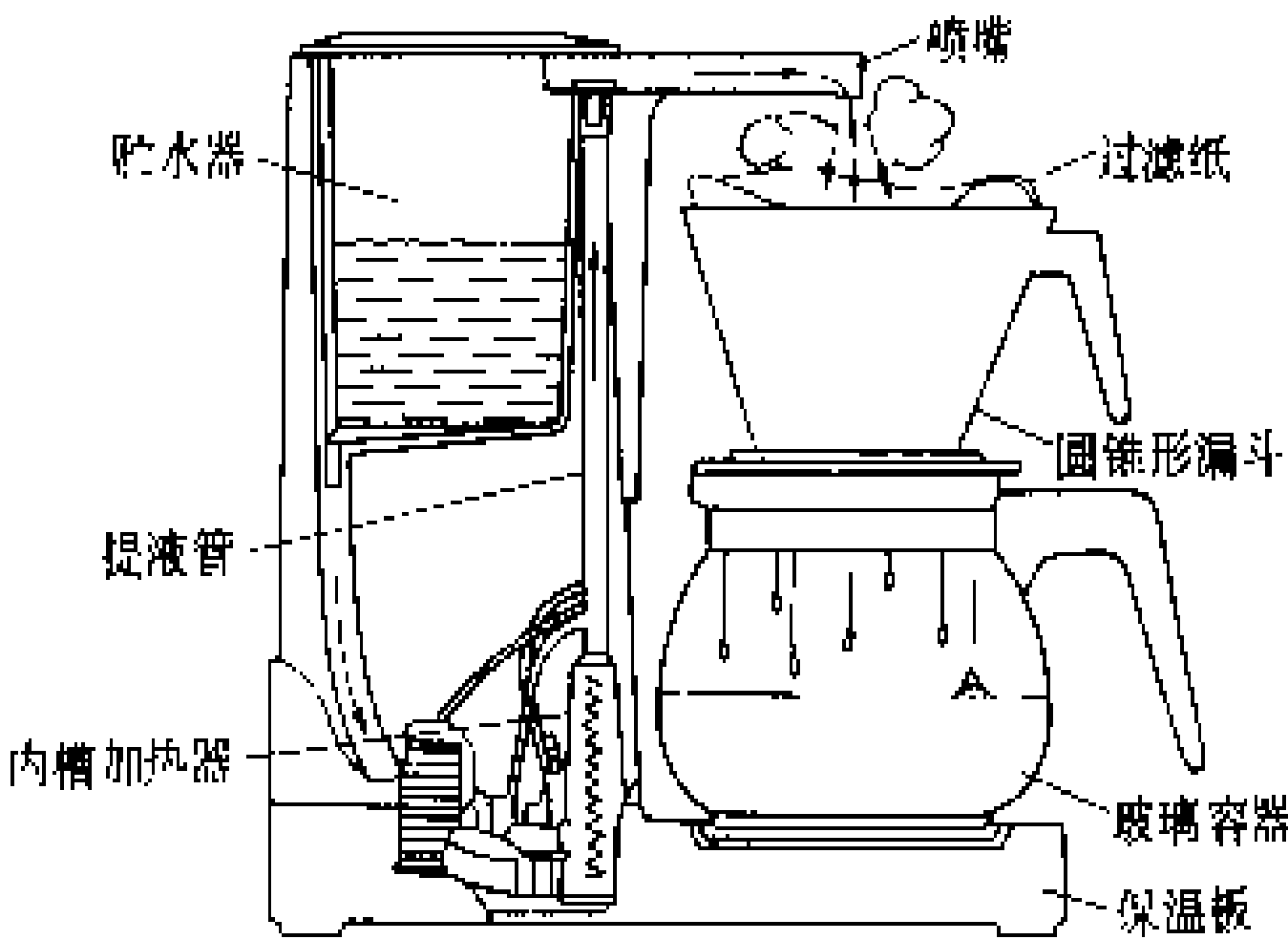


图 3 自动滴式咖啡壶结构

（叶宗林）

diankaoxiang

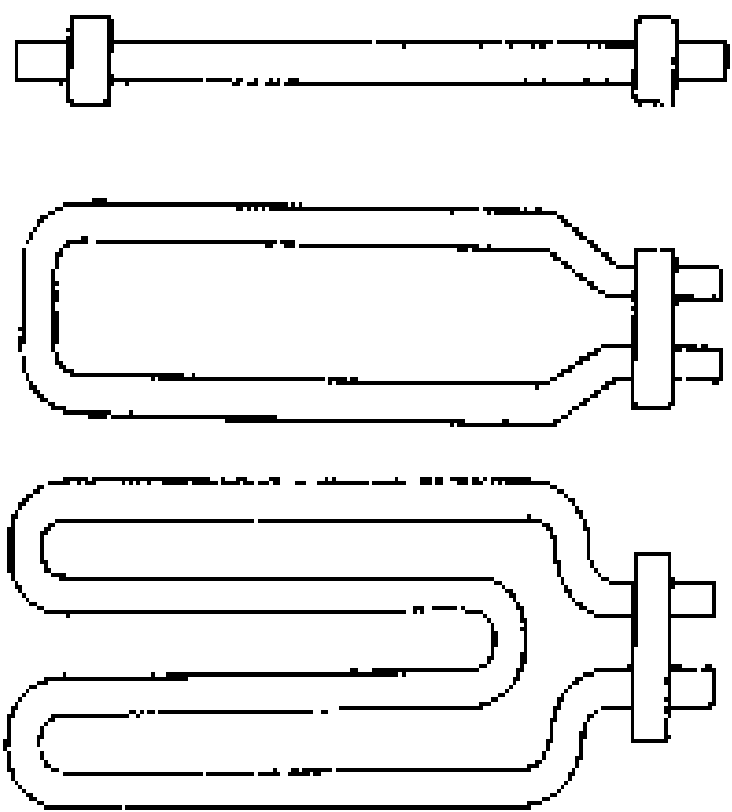
电烤箱（electric oven） 利用电热辐射热烘烤食物的厨房器具。按所用电热元件可分为普通型和远红外型；按控制方式分为普及型、自动调温型、自动调温定时型三种。第一种只能靠人工控温，第二种具有恒温功能，第三种既有恒温功能也有定时功能。其规格以耗电功率来表示，功率越大容积也越大。

电烤箱由箱体、电热元件、温度控制器、定时器（时间控制器）等组成。箱体包括外壳、内腔、箱门三部分。外壳和内腔均为金属制品，两者之间有一充满耐热绝缘材料的夹层，以提高热效率。箱门制成填充保温耐热材料的中间夹层块体、上面设有耐热玻璃窗口，供观察食物烘烤程度。电热元件大多为电热管式，有管形、U 形、W 形多种（如图），温度控制器是常见的双金属片式，定时器为发条式机械定时装置。

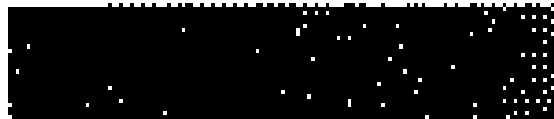
20 世纪 80 年代以后的产品，大多数都装有电子温度自控电路和电子定时控制电路。通过温度调节器旋钮和定时器调节旋钮，可以控制烘烤食物的时间，电烤箱内的温度可以在 100~125℃ 之间，按需要进行选择。

进入 90 年代，借助于温度、湿度、重量等作为传感信息的电脑电烤箱，具有多种记忆功能，可按预定输入的烘烤要求，如温度、时间、湿度、重量等因素，自动完成全部程序的操作功能，并达到烘烤质量最优程度。可以预言，这种新型的电脑电烤箱，必然是电烤箱制造技术发展的趋势。

电热元件示意图



（张应端）



diankong shebei guzhang zizhenduān

电控设备故障自诊断 (self - diagnosis of electrical control equipment)

电气控制设备判别自身有无故障并确定故障部位的功能。20 世纪 50 年代以来, 电控设备的应用不断普及和扩大, 对生产的作用愈加重要, 及时发现电控设备故障和迅速排除故障已势在必行; 计算机的发展, 尤其是微型机的出现, 使电控设备自诊断成为可能。电控设备自诊断和计算机自诊断有相同之处, 一般是通过对有限数目的输入和输出量测比较来实现的; 其不同之处, 是因为电控设备故障要求发现及时、可靠诊断。电控设备自诊断方法有的源于计算机自诊断法, 有的是自身发展起来的, 如表决法、冗余法等, 而所有的方法可归为两类: 数字系统诊断法和模拟系统诊断法。电控设备自诊断按使用状态可分成开机自诊断、在线自诊断和离线自诊断。

电控设备故障自诊断的难点在于要求自诊断完备、可靠、及时, 从而要求执行自诊断的核心硬件要少、工作可靠, 而且, 该核心硬件也要受到监视。在实践中, 模拟部分的自诊断, 尤其是在线自诊断, 难度较大。

数字系统诊断法 常用方法有两种: ①预定相量测试法。用预先设定的测试集对数字电路和逻辑软件部分进行检验。②随机相量测试法。生成随机的输入相量, 检验输出响应和标准参考模型响应有无差别。这两种方法均获得了广泛的应用。

模拟系统诊断法 主要方法有表决法、冗余法、估值法、拓扑法和分类法等。表决法是假定某功能模块损坏几率较小, 设置相同的多个模块, 当个别模块 (1 个) 输出不同于其他模块 (2 个以上) 输出时, 判定该模块损坏。冗余法是指测量量较多, 对比实测的输出量和由输入量按方程计算出的输出量之间的差异来判定设备是否工作正常。估值法是利用数目少于系统参量的测量值来估计故障参量, 可分为确定性法和随机法。拓扑法是以被测系统的网络拓扑为基础来诊断故障的。分类法主要是故障字典法, 将测得的特征与故障字典中的故障特征相比较, 以达到故障定位的目的。

开机自诊断 设备投入运行前, 对设备的各个环节自动地进行测试, 用预定相量集对数字电路和逻辑软件进行测试, 用拓扑法、表决法等对模拟部分进行判断, 从而判断设备是否满足合闸条件, 否则不允许设备投入运行。

在线自诊断 设备投入运行后, 在不破坏设备正常运行的前提下, 在线自诊断程序被周期地启动, 对设备各主要部分、元件、模块进行检查, 按冗余法、拓扑法等对整个设备进行诊断。当局部出现较小故障时, 则

告警的同时进行自恢复, 而对于较严重的故障, 则告警的同时进入停机操作。

离线自诊断 设备停运的情况下, 根据在线自诊断的信息, 调用离线自诊断程序, 对故障进行进一步分析提示, 帮助人们迅速确定故障部位和原因, 以及提示排除故障的措施。

(余锡仁 张鸿源 郝玉山)

dianlaotie

电烙铁 (electric iron)

用于对铁铜类日用器具、电气线路和元器件等进行锡焊的电热器具。电烙铁主要由烙铁头、发热元件和手柄等组成, 按发热方式分为电阻式、感应式和 PTC 式三种。

电阻式电烙铁靠电热丝通电将烙铁头加热。根据电热丝与烙铁头的相对位置, 电阻式电烙铁又可分为内热式和外热式两种。内热式电烙铁的烙铁头套在发热元件的外部 (图 1), 外热式电烙铁的烙铁头插入发热元件的内部 (图 2)。前者热量散失少、效率较高, 但发热元件细小易碎; 后者热量散失多、效率低, 但整体较结实耐用。

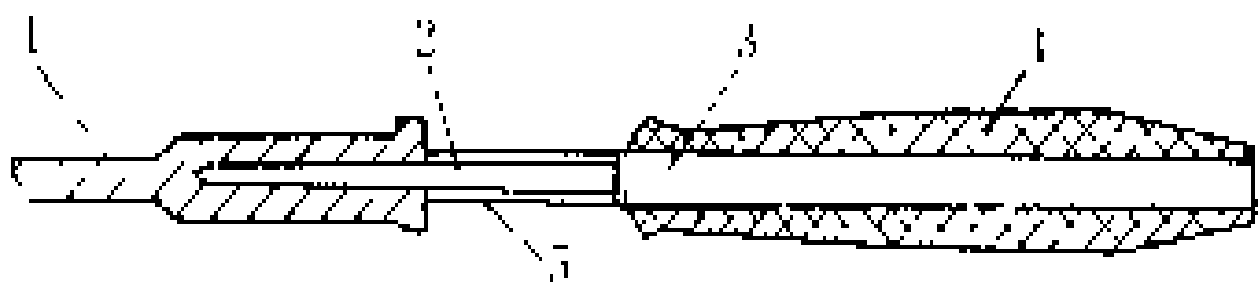


图 1 内热式电烙铁结构图

1—烙铁头; 2—发热元件; 3—连接杆; 4—胶木手柄;
5—套管

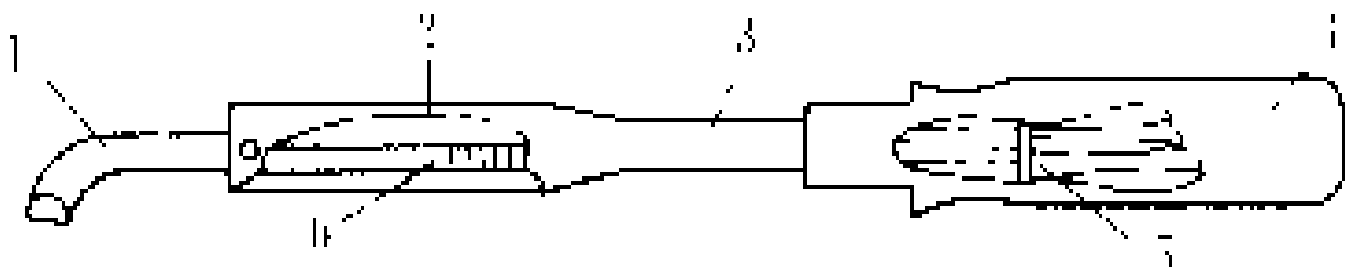


图 2 外热式电烙铁结构图

1—铜焊头; 2—云母片; 3—外管; 4—手柄; 5—接线柱;
6—电热丝

感应式电烙铁, 又叫快速电烙铁, 主体是一个电源变压器, 它将 220V 电源转变为低压大电流, 使烙铁头快速发热产生高温, 烙铁头是一根弯成 V 字形的铜丝, 适于焊接细金属线。该电烙铁发热快 (通电几十秒即可使用)、耗电少、使用方便, 但重量大、价格高、温度不易控制。

PTC 式电烙铁用大功率热敏电阻作发热元件, 制造方便, 不需镍铬贵金属, 价格较低廉, 耗电少 (同功率镍铬丝电烙铁的 1/3), 工作时不需外加恒温设备即可保持温度稳定。该电烙铁发热快, 几十秒即可化锡, 适用于精密电子元件和集成电路的焊接。

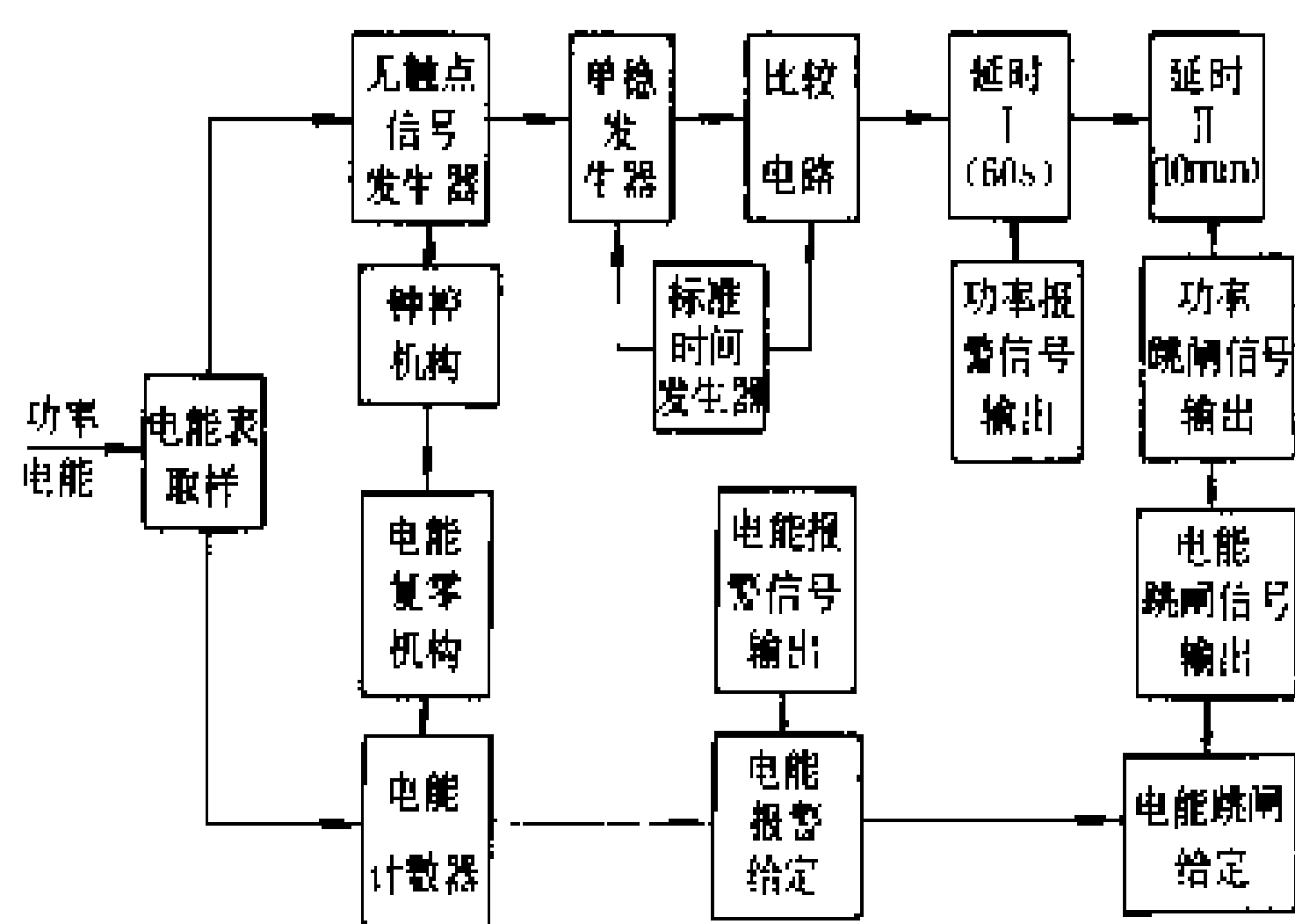
(刘有常)

diànlì dìngliàngqì

电力定量器 (liminator of electrical load)

对电力需求实行分时定量监控的分散型电力负荷控制装置(见电力负荷控制装置)。中国将电力定量器用于对用电单位或市、县的计划用电进行监控。当实际用电在给定的各时段用电指标之内时,电力定量器不动作;超过用电指标时,电力定量器即发出报警;在限定的延时时,如未减到限定的用电指标内,即切断供电的总开关或部分分路开关,定时或经一定手续由人工复位,方可继续用电。

电力定量器按控制的功能分为电功率型、电流型、电功率电量综合型三种。常用电力定量器的基本工作原理是以感应式三相有功电能表做为功率和电能的取样源,通过电力时控开关、功率转换与功率给定值进行比较,或实时电能累积量与电能给定值进行比较,若超限,则发出报警的同时启动延时电路,超时限未限控时,即启动跳闸输出电路,实施跳闸。其原理框图见图。



电力定量器原理框图

电力定量器是适应中国计划用电监控的需要而发展起来的。20 世纪 70 年代初,一些地区曾以过流继电器执行监控电功率职能,后来根据管理和功能的需要不断改进。1977 年设计定型为 DSK-1 型的第一代电力定量器,改电流取样为电能表脉冲取样,并兼有监控电功率和电能的功能。第二代电力定量器产品将原来的分立元件改成 MOS 集成电路,计时机构用石英时钟机芯代替原来的音片时钟机芯,取样方式用光电取样代替原来的振荡器取样,电量控制将原来的指针式改为逻辑电路数码显示式,电功率控制将原来的三时段单定值改为三时段三个不同定值等。第二代电力定量器产品是 80 年代初开始生产的,主要有 DSK-2 系列和 SDSK 系列等。第三代电力定量器产品采用单片机对功率、电量、时间等参数进行程序控制,并能把超计划指标用电跳闸时的用电负荷记录下来。

为了减少现场调改定值的繁重工作量,现逐步研究与集中型电力负荷控制装置相结合,从集中控制中

心远方调改现场电力定量器定值。

(曲 涛 顾嘉乘)

diànlì fùhé kòngzhì zhuāngzhì

电力负荷控制装置 (electrical load control system)

落实用电负荷管理的技术手段。以装置应用为目的应称为电力负荷管理装置。由于中国在 20 世纪 80 年代从国外引进集中型电力负荷管理装置时,主要以实行计划用电监控用户用电负荷为主,故称为电力负荷控制装置。该装置可对分散在供电区内众多的用户的用电进行管理,适时拉合用户中部分用电设备的供电开关或为用户提供供电信息。中国执行计划用电并进行用电指标管理,要求电力负荷控制装置有给定和调整用户用电定值、越限报警和限电的功能。根据控制方式的不同,电力负荷控制装置分为分散型电力负荷控制装置和集中型电力负荷控制装置两类。

分散型电力负荷控制装置指安装在被监控的用电设备、电力用户或地区(市、县)供电馈路上,按预先整定的时间或分时段定值,对用电的状况和并网电厂执行合同送电状况等进行自动化监控的设备。它主要包括电力时控开关、电力定量器。

集中型电力负荷控制装置是由电力负荷监控中心通过一定的通道,向安装在被监控侧的监控终端发送命令,按命令监控计划用电指标的执行的装置。集中型电力负荷控制装置按通道不同分为有线和无线两类。无线电电力负荷控制装置利用电磁波传送信息;有线电力负荷控制装置利用现有电力线路叠加耦合信号传送信息,它又分为音频电力负荷控制装置,载波电力负荷控制装置和工频电力负荷控制装置三种。音频电力负荷控制装置使用频率一般为 150~500 Hz,载波电力负荷控制装置使用频率一般为 9~12 kHz,工频电力负荷控制装置是在 50 Hz 电源正弦波电压过零前 25°左右输入信号使波形产生畸变,借以传送信号。

集中型电力负荷控制装置在用户处根据监控功能的需要安装不同类型的监控终端。监控终端有单向控制接收机、单向智能控制机、双向控制终端机、三遥控制终端机四种。除单向控制接收机在国际上采用较多外,其余三种为中国研制并大量采用。单向控制接收机的功能是根据中央控制机的命令拉合用户开关,无反馈信号功能。单向智能控制机除具有单向控制接收机的功能外,尚可输入有功电力定值作为越限报警和实施远方控制的依据(必要时也可输入无功电力定值),并具有显示和中央控制机下令调整定值的功能。双向控制终端机除具有单向智能控制机的功能外,还可适时采集并向中央控制机传送有功电力、无功电力等信息(必要时也可采集电压信息)。三遥控制终端机除具

有双向控制终端机的功能外,还可采集电压、电流和开关状态等信息。

中国于20世纪70年代开始定型生产、使用分散型电力负荷控制装置,80年代开始引进并研制生产集中型电力负荷控制装置并有所创新。

(曲 涛 顾嘉来)

dianli jiche

电力机车 (electric locomotive) 由牵引电动机从接触网上获取电能,并将电能转换为机械能,来驱动车轮运行的机车。电力机车是铁路牵引机车的一种,具有功率大、效率高、过载能力强、牵引及制动力大、加速减速快、整备作业时间短、运营成本低、不污染环境等优点。采用电力机车能提高运输能力,改善服务条件,在运输繁忙的铁路干线和在隧道多、坡度大的山区困难线段以及寒冷地区更能发挥其优越性。

简史 电力机车的出现已有百余年的历史。18世纪初荷兰人、苏格兰人先后试制了以蓄电池为电源的铁路机车车辆,但由于技术原因未能应用。1879年德国设计一台电力机车牵引三节车辆在柏林夏季国际博览会上首次载重展出,并获得载人试验成功。该机车采用直流150V,以在轨道一侧的供电用导轨供电,称第三轨供电(地铁动车多用第三轨供电),这是电力机车的雏型。1890年在英国伦敦地下铁道中,首次以电力机车牵引车辆正式开始运营。1895年美国铁路的一段隧道采用直流电力机车,电压为675V,机车自重97t,功率为1070kW。

1903年德国进行了三相交流电力机车试验,创造了210.2km/h的高速记录。1933年在匈牙利建成一条工频单相交流制电气化铁路,采用旋转式变流机组及三相异步电动机的交流电力机车,但因结构复杂未能得到推广。法国于1955年进行了四种电力机车的选型比较试

验,取得静止式整流器电力机车和直流牵引电动机试验成功,于是工频单相交流电力机车开始在上世界上迅速发展,有许多国家相继采用单相交流制。中国的电气化铁路于1958年一开始就采用了这种工频单相交流系统。

中国第一台交流引燃管电力机车是1958年12月由铁道部田心机车厂和第一机械工业部湘潭电机厂联

合试制组装的,命名为韶山1型电力机车。1961年8月15日中国历史上第一条电气化铁路宝(鸡)成(都)线宝(鸡)凤(州)段正式通车,揭开了中国铁路干线电力牵引的序幕。韶山1型电力机车经多年运用改进,于1968年开始批量生产,已经形成4、6、8轴型谱。至1991年,韶山系列机车累计产量达1350余台。其中韶山3型电力机车有525台,它将成为90年代的主型机车。1985年到1991年,株洲电力机车厂(原田心机车厂)生产韶山4型双节8轴货用电力机车48台。1990年9月中国铁路干线第一台客用韶山5型电力机车制造成功,它是中国第一代时速为140km/h的客运电力机车。此外,还在研制新一代交流传动的交流-直流-交流电力机车。1989年底由长春客车厂、株洲电力机车研究所共同研制,由长春客车厂生产的DKJ-1型电动车组经在铁道科学研究院环形试验线试验,最高速度达141km/h,填补了中国电动车组的空白。

组成 电力机车通常由机械、电气及空气管路三部分组成。

机械部分 包括转向架和车体。转向架是机车的走行部分,机车借以在钢轨上运行并承担车体载重。转向架由2轴或3轴转向架构架及其他梁件、轮对、轴箱、弹簧悬挂装置、齿轮传动装置、基础制动装置和牵引电机悬挂装置等组成(见图1)。转向架起着承载、传力、转向的作用。它对机车动力学性能、运行安全性能起着决定性作用。车体通过中心支承装置(又称二系弹

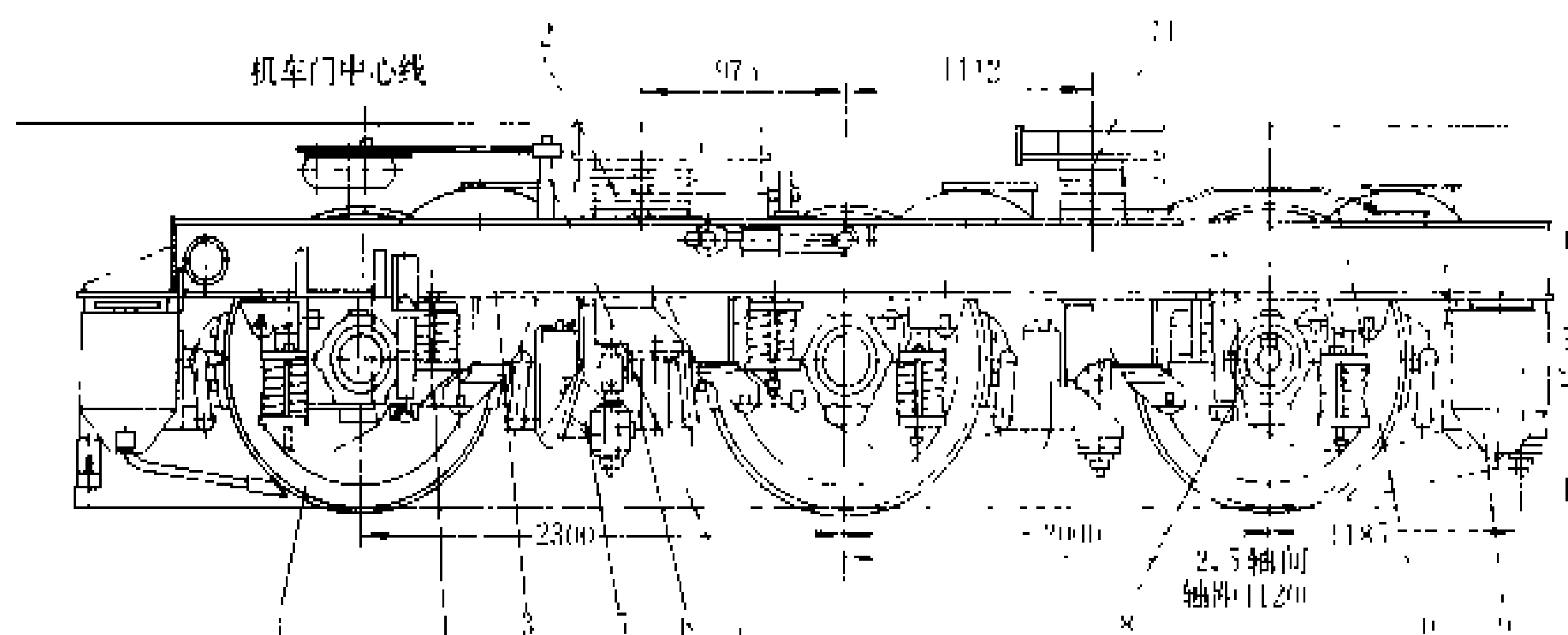


图1 韶山3型电力机车转向架(3轴)

1—轮对; 2, 11—旁承; 3—构架; 4—弹簧装置; 5—电机悬挂装置; 6—基础制动装置;
7—手制动; 8—轴箱及测速发电机; 9—砂箱; 10—轮罩

簧悬挂)弹性地架设在转向架上。车体由车体底架、侧墙、台架、车顶和司机室等部分组成(见图2),内装有各种机电设备。干线电力机车的车体一般采用客车车箱式外形,用型钢及钢板焊接而成。司机室通常设在车体两端(或一端),有走廊连通,在车顶上装有受流装置、主断路器、避雷器等。

由不同轴数2轴或3轴转向架可以组成4轴、6

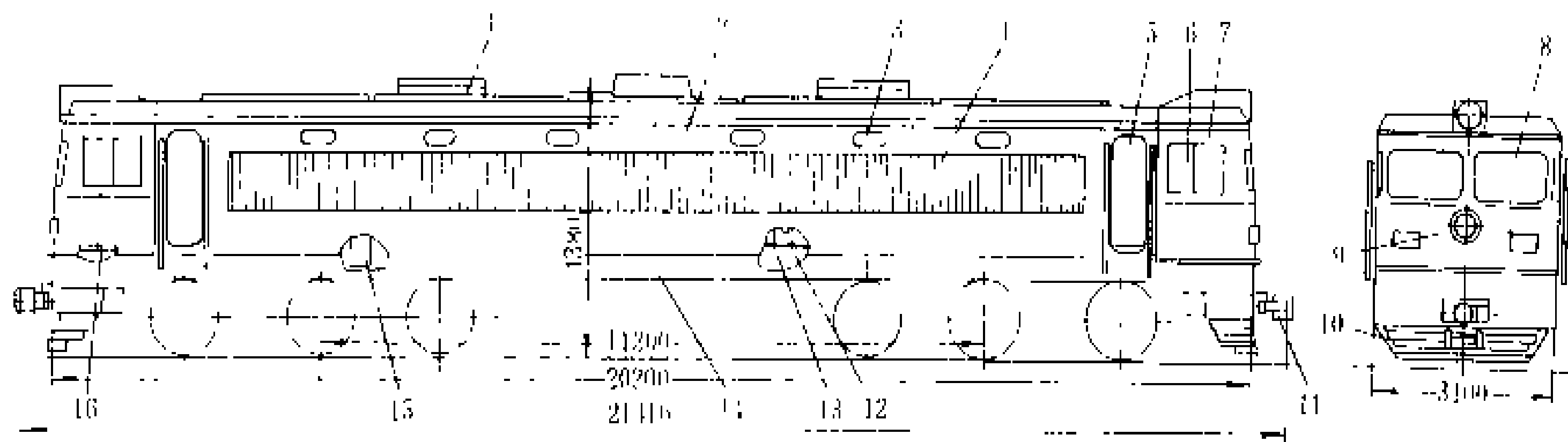


图2 韶山3型电力机车车体

1—顶盖；2—侧墙；3—侧墙窗；4—百叶窗；5—车门；6—司机室侧窗；7—司机室；8—前窗；9—标志；10—排障器；
11—车钩；12—骨架；13—台架；14—底架；15—帆布连管；16—司机室地板

轴、8轴等机车。机车的转向架应能保证机车稳定安全地运行。车体应具备必要的强度和刚度。

电气部分 根据设计要求,为实现一定的功能,用导线将各电气设备连接起来,构成电力机车的电路。按电路作用的不同可分为主电路、辅助电路、控制电路以及相应的保护系统。

(1) 主电路。它由牵引变压器、牵引电动机、变流装置等电气设备和线路组成。主电路电压为牵引电动机的工作电压或者接触网的电压。主电路将来自接触网的电能转变为机车的牵引动力,或将电能转变为制动力。

(2) 辅助电路。供给机车各辅助电机、电器电能的电路。辅助电机包括分相机、冷却通风机组、空气压缩机组等。辅助电机可用直流电机也可用交流电机。

(3) 控制电路。它由控制电器及其连锁接点、微机系统和监测系统等组成。控制电路用于操纵各种电器按规定的程序动作,保证机车按要求运行。

(4) 保护系统。保证机车的各种电气设备免遭损伤或发生故障时给出报警信号的系统。

空气管路部分 空气管路直接影响机车的工作可靠性及运行安全。按其功能可分为风源、控制气路、辅助气路及制动机。它由机车制动机、空气压缩机、主风缸、制动缸、各种阀门和连接管路组成。空气压缩机生产的压缩空气储存在主风缸中,作为机车和列车制动和机车上各种气动器械的风源。控制气路为控制受电弓的升降,开闭空气断路器及各种气动接触器等所需的压缩空气的气路系统。辅助气路系统为供给机车的撒砂装置(可在机车启动时或运行中发生空转时在轨面上撒砂,增加轮轨间摩擦力防止打滑)、气笛及刮雨器等所需的压缩空气系统。

分类 电力机车按使用条件可分为工矿电力机车和干线电力机车。工矿电力机车用于冶金、煤矿、化工等工业系统,一般多用直流制,机车功率和速度均低于干线电力机车。干线电力机车按其用途可分为客

运、货运、客货两用和调车电力机车;按供电系统的电流制可分为直流电力机车、交流电力机车和多流制电力机车。

直流电力机车 以直流接触网(见电力牵引接触网)供电,采用直流牵引电动机的机车。接触网电压有直流1200、1500 V或其他更低或更高的电压等级。直流电力机车利用起动电阻和牵引电动机的串联组合方式进行起动及调速。这种起动和调速方法的缺点是机车牵引力不能平滑连续地调节而是有级调节,其调速级位有限,能耗较大,线路转换复杂。近年来,由于电子技术、直流斩波技术的发展,逐渐采用直流斩波调压方式。斩波调压、斩波调磁(见斩波控制直流调速)用于直流调速日益增多。直流电力机车通常采用牵引电动机磁场分级削弱的办法,以提高机车速度,发挥机车功率。直流电力机车在许多国家如英国、法国、日本、苏联等仍然大量采用。

交流电力机车 按供电系统接触网电压的不同,交流电力机车电压有20 kV和25 kV,频率可采用单相工频50 Hz或60 Hz。西欧有些国家如联邦德国、瑞典、瑞士等采用低频单相交流制,电压为11~16 kV,频率为 $16\frac{2}{3}$ Hz和25 Hz。交流电力机车采用的牵引电

动机有直流串励牵引电动机和交流牵引电动机两种。交流电力机车根据变流装置和牵引电动机的类型可分为单相整流子电动机电力机车、整流器电力机车、交流-直流-交流电力机车三种机车类型。

(1) 单相整流子电动机电力机车,也称直接式交流电力机车,它将接触网的交流电压经变压器变压后直接供给单相整流子电动机,以单相整流子牵引电动机(见交流整流子电动机)驱动车轮运转。这种机车的电气设备主电路、控制电路比较简单。但交流整流子电动机随着交流频率的增高,引起换向条件困难,不宜在工频电压下运行,多用于单相低频交流电气化线路上,且需用专门的低频供电电源。

(2) 整流器电力机车,也称交流-直流电力机车,

是当前应用较多的一种单相交流电力机车。它由牵引变压器将接触网的电压降低后送给由大功率半导体器件或晶闸管组成的整流装置变成直流,再供给牵引电动机,以驱动车轮运转。通常采用脉流串励牵引电动机。整流器电力机车采用调节牵引变压器的输出电压或者对整流装置进行相位控制的办法,改变整流电压,达到调节电力机车速度的目的。改变牵引变压器输出电压有两种方式,即高压侧调压和低压侧调压。一般采用低压侧调压方式。无论高压侧调压或低压侧调压均属有级调压,从一级调压转换到另一级的过程中有电流冲击,引起牵引力突变。由于大功率电子器件和自动控制技术的发展,电力机车有级调速已被平滑的无电流冲击的无级调速所代替,省略了调压开关设备,也简化了主电路。

(3) 交流-直流-交流电力机车,也称单-三相交流电力机车,它将接触网的单相高压交流电经过牵引变压器降压,供给装在机车上的静止变流装置(整流逆变装置)整流,再经过逆变器将直流变为三相交流,供给三相交流电动机(三相异步牵引电动机或者三相同步牵引电动机)驱动车轮运转。利用调节变流装置输出的电压和频率,可以控制交流电力机车的功率和速度。这种电力机车的突出优点是:采用异步牵引电动机,结构简单,坚固耐用,维修工作量少,电机的功率重量比大,相应地减轻了机车簧下重量,改善轮轨间动力作用,机车功率相应增大,故这种机车适用于铁路高速重载牵引;变流装置系统具有良好的调节功能和动力指标,可以改善电网供电条件和机车牵引性能。如果用四象限电源变流装置,可在较宽的机车负载范围内保持电网功率因数接近于1,电网电流波形近似正弦波,减少了无功功率和对通信的干扰。这种机车存在的问题是生产技术水平较高,变流装置成本高,不利于大规模推广。

多流制电力机车 在直流和不同频率、不同电压的交流接触网供电条件下,均能工作的电力机车,也称交直流电力机车。它能同时在两种或三种不同的供电电压下正常工作,故特别适用于国际间联运。如日本的EF81型整流器式交直流电力机车,用于直流电压1500 V和交流20 kV、50/60 Hz。法国BB22200型交直流电力机车,用于直流1500 V和交流25 kV、50 Hz;BB26000型机车采用同步牵引电动机,可在交流25 kV、50 Hz和直流1500 V电压下工作。此机车持续功率为5600 kW,在200 km/h速度下可牵引750 t客车,为4轴交直流两用的电力机车。

发展趋势 近年来干线电力机车向着大功率、高速度、可靠耐用方向发展。干线货运电力机车每小时功率达6400 kW,有的达10000 kW。客运电力机车车速

从160 km/h提高到200 km/h和250 km/h或更高。在今后一定时期内,采用变流装置以脉流牵引电动机作为传动系统的整流器电力机车,已成为许多国家电力牵引的主型机车。近几年来由于大功率电力电子器件、微型计算机和电子控制技术的迅速发展,变流装置、调频调压控制系统、自动控制、监测技术方面日益发展完备,为采用交流牵引电机传动系统,充分利用与发挥异步牵引电机的优点,提供了有利条件。预计在20世纪末,新一代运用交流传动技术的交流电力机车,将有更进一步的发展。

参考书目

马开国. 电力机车概论. 北京: 中国铁道出版社, 1990

(高福崑)

dianli jiche bianliu

电力机车变流 (electric locomotive converter)

用机车上的变流装置,将牵引供电网的电能(电压、电流)转换为供给牵引电动机电能的技术。采用这一技术可达到控制牵引电动机的转速,操纵机车速度的目的。一般将交流变为直流的变流装置称为整流器,反之称为逆变器。交流牵引供电系统的接触网(见电力牵引接触网)为单相工频交流。而直流牵引电动机需要的直流,由车上变流装置即整流器供给。变流装置的电路是决定电力机车工作性能的主要因素之一,它是机车的重要组成部分,直接影响机车的重量、尺寸和技术经济指标。

整流电压、电流脉动 电力机车变流装置将单相交流经整流后供给牵引电动机的电压,并非直流电压,实质为脉动电压。流过牵引电动机的电流也是脉动电流。脉动电压不仅含有直流分量,也含有高次谐波分量。

整流电压波形脉动量大小,通常用脉动系数 K 表示(电压波形的交流分量幅值与直流分量之比)。对于全波整流电路一般整流电压 U_d 的脉动系数 K 为一常数($2/3 \approx 0.67$)。

整流电压脉动必然有整流电流脉动,在脉动电流下工作的牵引电动机,由于电流和交变磁通分量作用引起铜耗与铁耗增加,使电机容易发热,又因交流分量作用使电机的换向恶化,所以在牵引电动机回路中装有平波电抗器以减少整流电流的脉动。一般电力机车变流装置的整流电流脉动系数 K 取为25%~30%;有时为降低等效干扰电流,取该系数为30%~50%。

工作特点 ①变流装置从接触网取流为单相交流。②机车运行时,其负载随着与电力牵引变电所距离的变化而变化很大,因而变流装置的工作电压变化也

大。③要求整流装置电压有较广泛的调节范围和稳定的工作性能,以适应机车调速需要。④变流装置应能耐振,要求体积小、重量轻。直流牵引供电系统接触网的直流电压,一般由地面直流牵引变电所向接触网供电。

分类 电力机车的变流根据电力牵引供电系统的不同,分为直流、交流单相低频与单相工频三大类。

直流电力机车的变流 直流电力机车的变流装置,主要是牵引变电所的整流装置和牵引电动机整流子电刷的变频装置。机车内仅有牵引电动机的串并联转换开关、起动电阻转换开关及反向器等。牵引变电所内整流装置早期采用汞弧整流器,现代采用半导体整流器。直流接触网电压一般为600~3000 V,近年来由于采用晶闸管直流斩波技术,接触网电压可提高到6000 V。

低频单相整流子电力机车的变流 这种机车通常采用单相整流子电动机作为牵引电动机。这种单向整流子牵引电动机存在整流问题,为了得到良好的整流质量,需要降低电机整流元件(即电机的换向绕组)中变压器的电动势,所以必须采用低频电源,利用变电所的变频装置和电动机的整流子电刷变频。机车调压采用有调压抽头的变压器和调压开关。一般单相低频交流电力机车的频率为 $16\frac{2}{3}$ Hz或25 Hz,接触网电压为5~15 kV。早期变电所用离子变流器和旋转机组变频,现代用电力半导体静止变频装置,德国一直沿用这种低频系统。

单相工频整流器电力机车的变流 这种变流系统在现代交流电力机车中应用较多。它用机车上整流装置将接触网单相交流变为直流(实际是脉流),供给机车牵引电动机。根据变流电路接线方法,机车整流电路分为中间抽头式及桥式电路两大类。

(1)中间抽头式整流电路:它由变压器绕组(带有中点抽头)与整流装置、牵引电动机及平波电抗器等组成(见图1)。中间抽头式整流电路通过两组整流器(硅半导体或晶闸管等)V1、V2的整流作用,使牵引绕组的两臂(0a、0b)在交流电压正负半周作用下交替导电,在k、0两点使得整流电流连续流过牵引电动机,而且电流方向也不变,总是从k到0保证直流串励电动机正常运行。同时,通过调压开关作用,即改变牵引变压器绕组的调压分接头的连接,即可调节直流输出电压(即调速作用)。

由于整流装置的电压高、电流大,每臂的整流元件(硅二极管或晶闸管等)一般用几个元件串联及并联组成。串并联的元件数目与所用元件的额定参数、特性以及机车主电路形式和参数有关。

中间抽头式整流电路具有结构简单的优点。但是

牵引变压器的低压绕组,每相绕组只有半周工作,利用

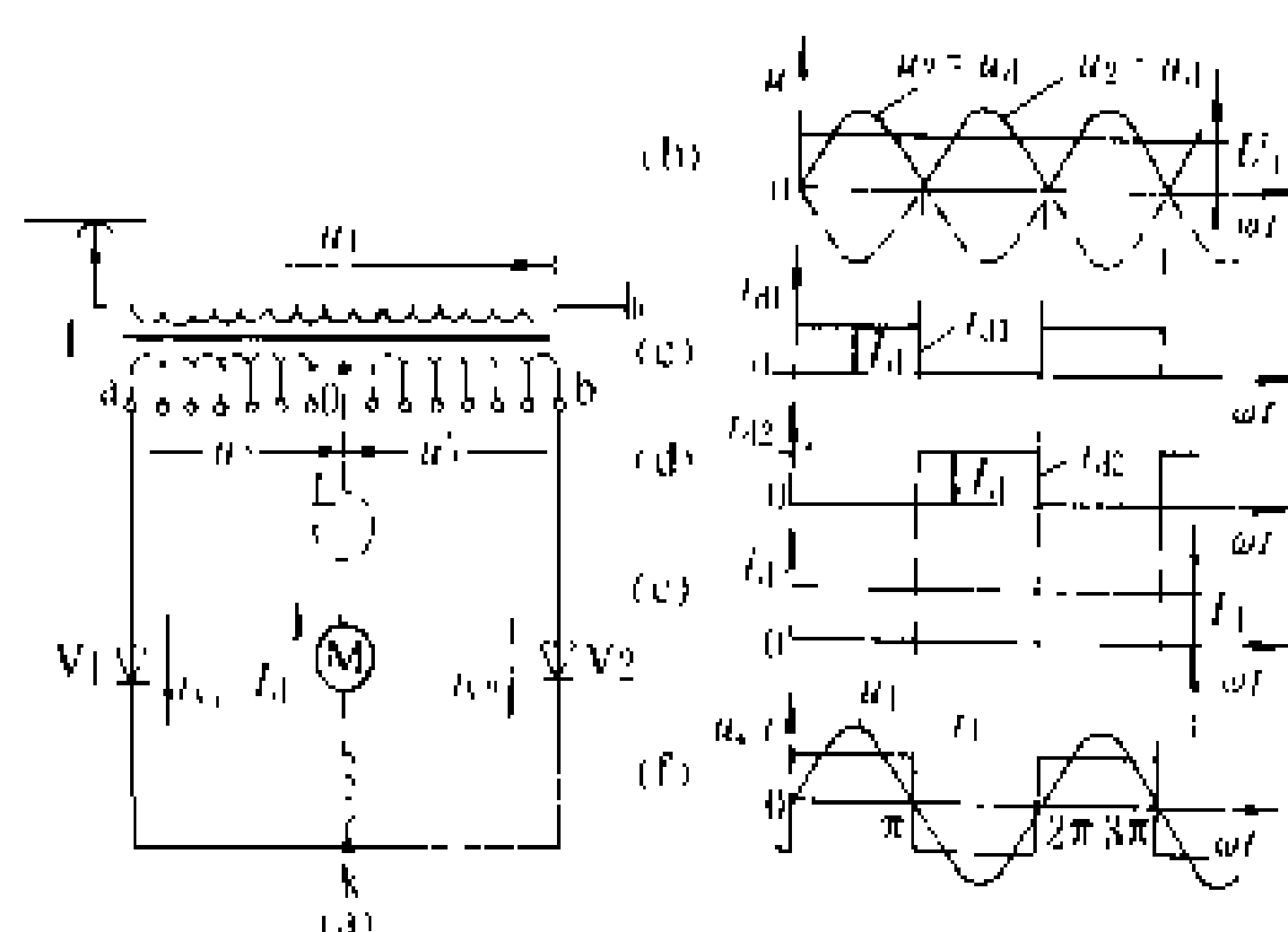


图1 单相全波中点抽头式整流电路及波形
(a) 电路图;(b) 整流电压波形及其平均值;(c)、(d) 整流臂的电流波形;(e) 整流电流 I_d 的波形;(f) 牵引变压器高压侧电压和电流波形
T—牵引变压器;V1、V2—整流器;M—牵引电动机;L—平波电抗器

率不高,而且变压器设计容量大,每一整流臂的元件要承受 $2\sqrt{2}u_2$ 的反向电压(桥式整流电路只承受 $\sqrt{2}u_2$ 反向电压),所以整流器式电力机车一般多用桥式整流电路。中国韶山1型及韶山3型电力机车均为中间抽头式整流电路。

(2)桥式整流电路:由机车牵引变压器低压绕组及整流桥(四个桥臂)、牵引电动机、平波电抗器等组成(见图2)。其结构特点是:牵引变压器低压侧为一个牵

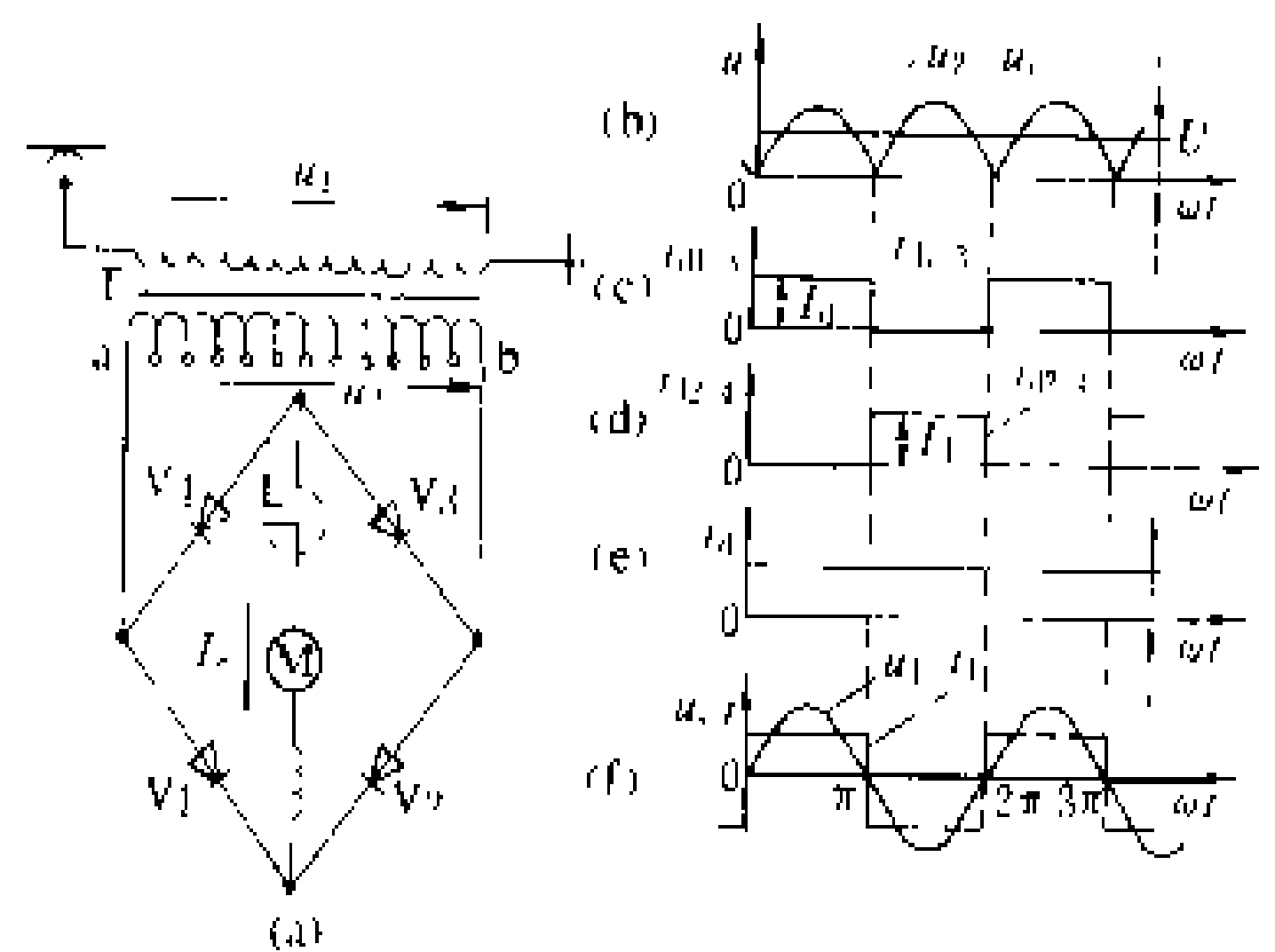


图2 单相全波不可控整流电路及波形
(a) 电路图;(b) 整流电压波形;(c) 元件V1和V3的电流波形;(d) 元件V2和V4的电流波形;(e) 整流电流 I_d 的波形;(f) 牵引变压器高压侧电压和电流波形
T—牵引变压器;V1~V4—硅整流器;M—牵引电动机;L—平波电抗器

引绕组,整流桥四个桥臂上的整流元件,当交流电压正半周时,即a点为正电位时V1、V3导通,电流经V1、牵引电动机M及平波电抗器L、V3至b点,此时整流器V2和V4承受反向电压不导通。在负半周电压

时,即b点为正电位时,V2、V4导通,而V1、V3承受反向电压不导通。桥式整流电路通过四个桥臂上的整流元件的整流作用,将单相交流变为直流,供给直流牵引电动机,保证其正常运行。利用调压开关,将低压侧绕组的调压抽头转换,改变整流器V1、V3和V2、V4的输入交流电压就可以调节直流输出电压,即改变牵引电动机电压进行调速。

桥式整流电路与中间抽头式整流电路比较,其低压绕组无论正负半周都工作,得到充分利用;在相同功率输出条件下,中间抽头式牵引变压器设计容量比桥式的大 $\sqrt{2}$ 倍;两种电路所需的整流元件数目相同,因为中间抽头式电路中整流元件所承受反向电压为桥式的2倍,所以串联元件数也为2倍,但桥式有4个整流臂也为中间抽头式2倍,结果二者所需元件相同。

交流电力牵引中,整流器式电力机车采用单相桥式可控整流电路或半可控整流电路的较为普遍。

在上述桥式电路中将整流元件全部用晶闸管元件,则构成全控桥式整流电路,若四个桥臂中有两个桥臂采用晶闸管元件,而另外两臂用硅二极管,则组成半控桥整流电路。这两种整流电路的差异在于全控桥整流电路既能整流,又能实现逆变(将直流变为交流);而半控桥只能整流,不能实现逆变。如果电力机车需有再生制动的性能时,需用全控的整流电路,才能解决机车再生制动时将产生的直流转换为交流的问题。在不需逆变的情况下,半控桥式整流电路在电力机车上用得较多,半控桥式整流电路见图3。

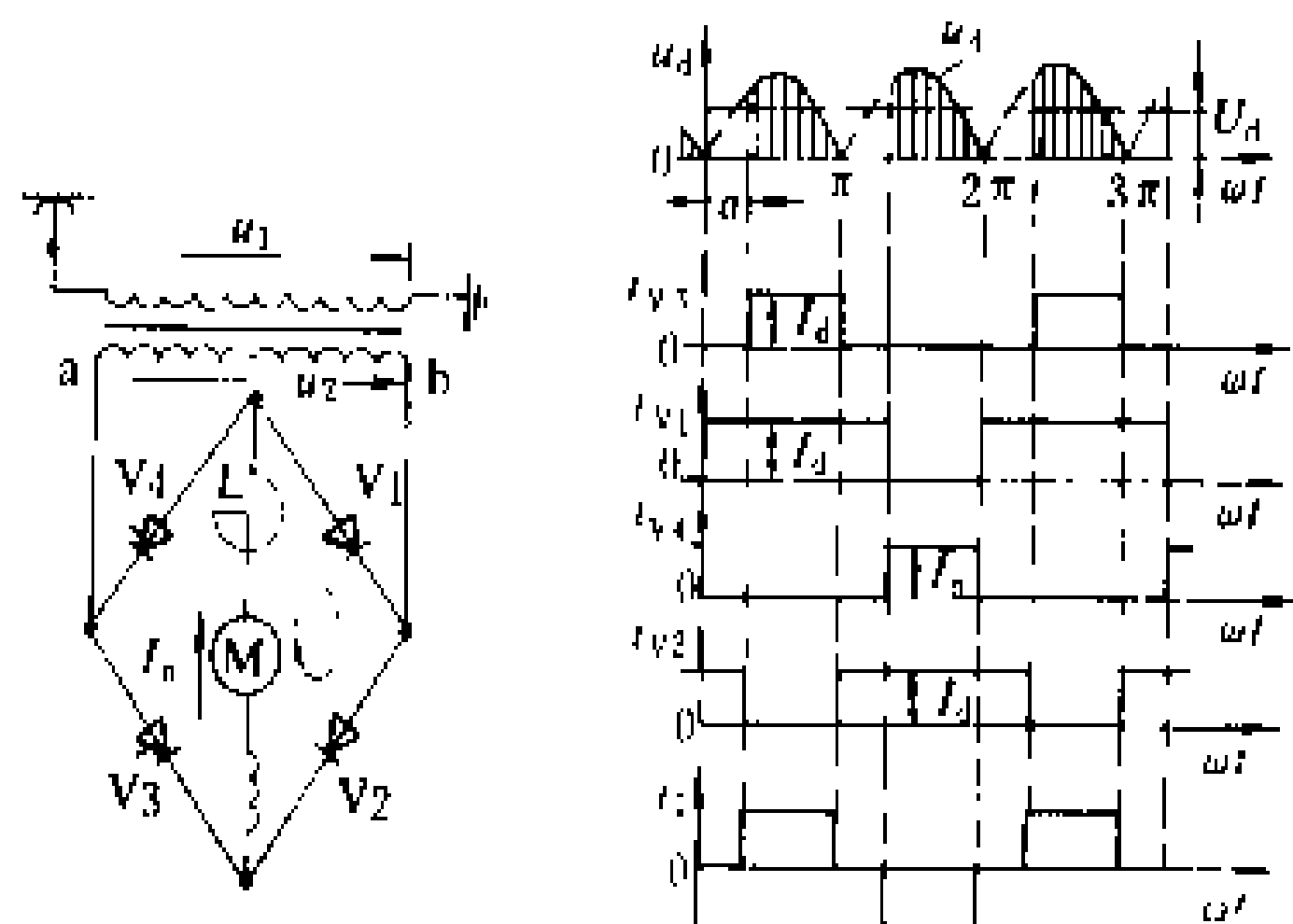


图3 半控桥式整流电路及整流波形

不可控的桥式整流器电力机车,整流电压大小只能依靠调压开关转换牵引变压器的绕组抽头来调节,且不能平滑调节整流电压。

采用桥式整流器的电力机车,在构成的桥式电路中,一般采用多段(二段或四段)桥式整流可控或半控(或混合式)电路,即牵引变压器几个低压绕组,分别与几个整流桥相接,再供给牵引电动机。

变流技术 对应不同的装置有不同的变流技术,主要有直流斩波变流、交流-直流-交流变流(简称交直

交变流)。

直流斩波变流 这是直流变直流的技术,利用直流斩波器以改变直流电压平均值。采用晶闸管强迫关断的方法,周期性地控制直流电源与负载之间的通断,在斩波器输出端得到的脉冲电压经过平波电抗器平波,在负载侧获得由周期导通角 α 控制的直流电压 u_d , u_d 实为斩波器输出电压 u_2 的平均值。

这种直流斩波多在直流电力机车、电动车组、地铁或城市无轨电车上作调速用。

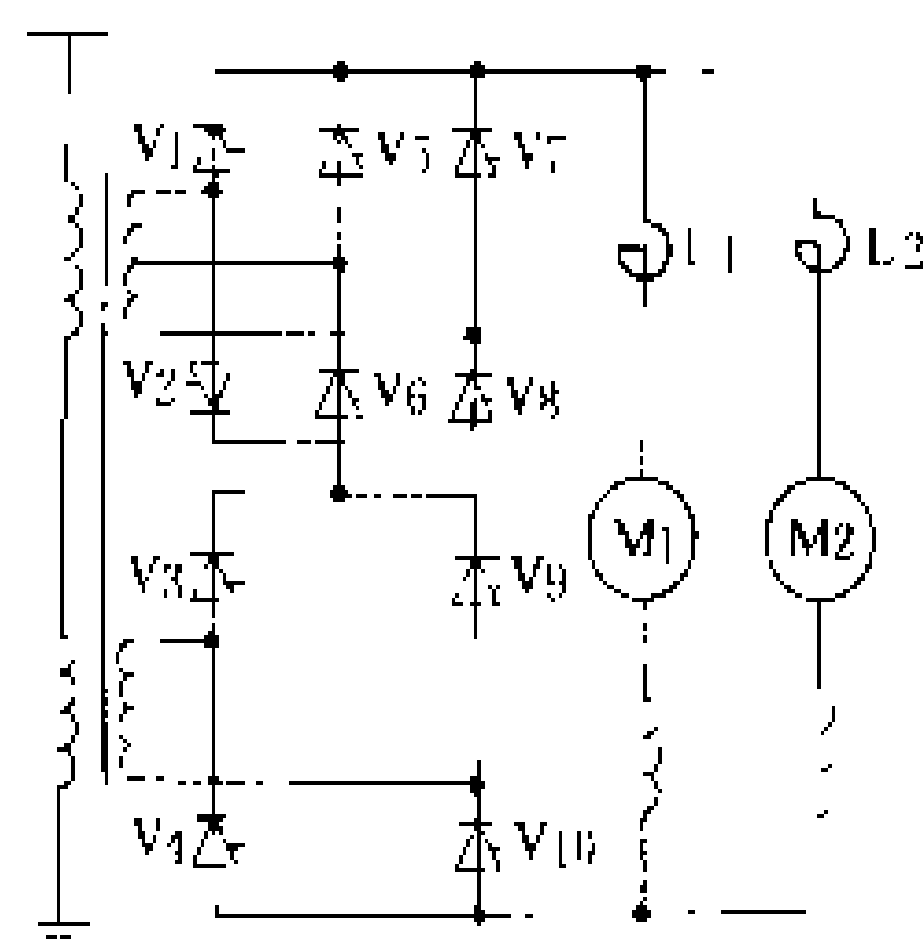


图4 韶山4型电力机车主电路示意图

此外,还有交流斩波变流,利用晶闸管强迫关断方法,控制整流电压的关断时刻,达到调压和控制基波电流移相的目的。

交直交变流 这是交流变流技术。牵引功率在传递过程中,在交流、直流、交流之间转化的技术。交直交变流技术用于电力机车上即为交直交传动的电力机车。采用三相交流电动机(多用异步电动机或同步电动机)作为牵引电动机驱动车轮运行。

(1)交直交变流技术的结构特点:三相交流传动的负载,即三相交流电动机的瞬时功率是恒定平稳的三相调压调频的负载,而供电电源的接触网为单相系统,瞬时功率是以2倍电源频率脉动的,所以现有的单相交流电源与三相交流负载的参数变化不能适应,需用中间直流环节来调节平衡。因而,交流-直流-交流变流由三部分组成:电源变流器、中间直流环节、负载侧逆变器。

电源变流器:将固定频率的单相交流电源变为直流电源。

中间直流环节:用于电源与负载间平衡与隔离。它具有储能与滤波装置,解决电源与负载间瞬时功率平衡,传递牵引有效功率,消除电源与负载间的不良干扰。

交直交变流系统的中间直流环节,又分为电流型、电压型两种。此中间直流环节既不产生电能,也不消耗电能,但可储存一定的电磁能量,通常由滤波装置和电容或电感的储能装置组成,它是交直交变流中的重要组成部分。

电流型中间直流环节是以电感作为储能主体,配合电流型电源变流器等工作,由电源变流器保持中间环节的电流恒定。

电压型中间环节是以电容器为主体,有的需配合谐振滤波器等作为储能装置,配合电压型电源变流器和电机侧逆变器工作,保持中间直流电压恒定。

中间直流环节的电压(或电流)大小,与机车功率直接相关,通常直流电压为1~3 kV左右,最高可达4 kV。它与变流装置元件参数、储能电容及牵引电机参数有密切关系。

三相牵引电动机侧的逆变器即为负载侧逆变器,它是将直流转变为三相交流,并对三相交流牵引电动机供电。

图5 为交直交传动系统原理图。

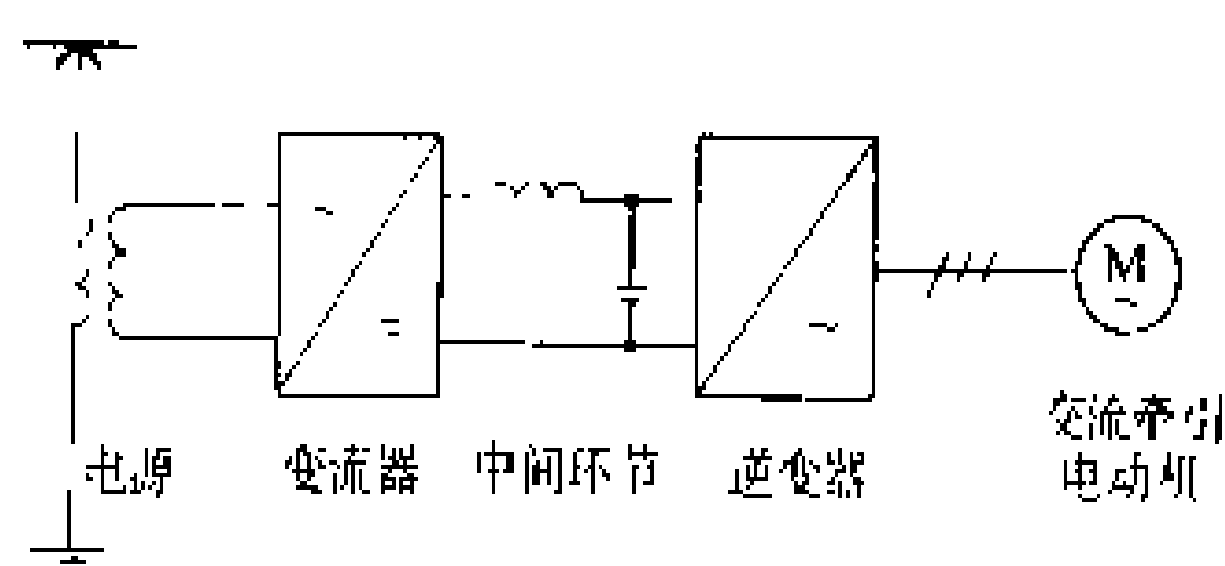


图5 交直交传动系统示意图

(2) 交直交变流的优点与发展:利用功率大、结构简单、可靠的笼型感应电动机和大功率电子器件及微电子控制变流技术与最佳的电牵引特性和抗干扰性能等相结合,得到一种新的传动方式。它适应各种机车、电动车的传动要求,用于电力、内燃、调车机车以及地铁电动车、市郊城市电车上。

整流电路换相 换相(也称换流)是整流电路中一种特殊现象。所谓换相是指在交流电压过零时,由一臂整流元件(半导体元件)导电转换到另一臂整流元件导电的过程。由于牵引变压器漏抗的存在,所以整流器或电力机车有换相问题。整流电路的换相直接影响着整流电压波形及其平均值,影响牵引变压器的电流波形及其容量、功率因数、高次谐波等参数。

换相过程的长短,可用表明换相持续时间的换相重叠角(电角度) γ 表示

$$\cos\gamma = 1 - \frac{\sqrt{2} x_s I_d}{u_2}$$

换相重叠角 γ 与电抗 x_s (牵引变压器漏抗 $x_s = \omega L_s$)、负载 I_d 、电压 u_2 有关。 γ 随 x_s 、 I_d 增加而增大,随着牵引变压器低压侧电压 u_2 的增高而减小。

在换相过程中,两臂的整流元件同时导通,整流电压为零,所以整流电压平均值下降,造成电压跌落,在设计整流器或电力机车主电路时,必须考虑整流电路的换相问题。

变流装置中的主要设备 主要有电源变流器、逆变器。

电源变流器 由一个或几个升压斩波器组成,有直流-直流-电源变流器、交流-直流-电源变流器两种。

它与中间直流环节密切配合,保持中间环节直流电压(或电流)恒定,除斩波、相控、扇控变流器之外,还有一象限、二象限、四象限变流器等。采用脉宽调制工作时,在交流-直流变换中,如二象限变流器可用于牵引工况;四象限变流器用于牵引及再生制动工况,在正弦脉宽调制情况下工作时,既可控制电网电流的相位又可控制波形,通常用于保持电网功率因数接近于1,波形近似正弦的有最高的功率因数和最小的谐波电流及最小的等效杂音干扰电流。这是交流-直流-交流传动的突出特点。

逆变器 交流-直流-交流传动系统中的逆变器将中间环节的直流变为调频、调压的交流(三相)以驱动异步牵引电动机。逆变器分为电压型和电流型两种。

电压型逆变器(也称电压源逆变器) 其电路采用电容器作为直流环节中的储能、滤波元件,电源阻抗很小,类似电压源,逆变器输出电压是比较平直的矩形波。而**电流型逆变器(也称电流源逆变器)**,其电路采用电抗器作为直流环节中的储能、滤波元件,电源阻抗很大,类似电流源,逆变器输出电流是较平直的矩形波,这两种逆变器各有优缺点。

逆变器采用的功率半导体元件,根据其系统的功率不同而异。一般中小功率系统采用晶体管(GTR)及门极隔离双极晶体管(IGBT);在大功率交流-直流-交流牵引传动系统中用快速晶闸管(SCR)或非对称晶闸管(ASCR),近年来开始广泛采用大功率门极可关断晶闸管(GTO)。电流源逆变器一般用于中等功率,电压源逆变器多用于大功率系统。

逆变器主电路结构有“两态”与“三态”两种形式。两态逆变器其输出电压有正、负两态组成。三态逆变器则由正、零、负三态组成。三态逆变器的输出电压波形较好,谐波含量少,半导体元件上承受的电压较低,但所用元件的数量多,适用于中间环节电压很高的系统(4 kV)。

交流-直流-交流传动的电力机车在运行时,采用调频调压、脉宽调制等基本原理,用微机自动控制系统操纵机车的运行工况和调节速度。

参考书目

马开国主编,电力机车概论,北京:中国铁道出版社,1990

(张锡斌 商福崑)

dianli jiche dianji dianqi

电力机车电机电器 (electric locomotive machine and apparatus)

电力机车主电路、辅助电路及控制电路中的各种电机和电器,也称牵引电机电器。如主电路中的牵引电动机、整流装置、主变

压器、受电弓、主断路器等。辅助电路中的各种冷却通风机组、空气压缩机组、劈相机以及控制电路中的司机控制器等。装在机车上的电机、电器受到机车内部空间及轨距的限制,因此这些牵引电机、电器的工作条件与一般的电机、电器有很大差别。牵引电机、电器的工作特点是:受机车运行影响有强烈的机械振动和冲击,要求在结构及性能上能耐振、耐温、防尘、防湿,能适应环境、气温的变化,具有良好的电稳定性及热稳定性,工作准确、可靠、耐用等。

牵引电动机 电力机车的重要部件之一,在电力牵引的机车或动车上用于驱动动轮轴,通过齿轮与轮对相连。机车在牵引状态运行时,牵引电动机将电能转换为机械能,通过轮对驱动机车运行;当机车在电气制动状态下运行时,牵引电动机将机械能转化为电能,此时,电动机处于发电机状态。

牵引电动机有直流牵引电动机、单相整流子牵引电动机、交流异步牵引电动机和交流同步牵引电动机等类型。其中直流牵引电动机,尤其直流串励牵引电动机的牵引起动性能较好,调速范围广,控制简单,适应机车牵引特性的需要,在电力牵引中一直得到广泛应用。近年来,由于电力电子技术和微电子技术的发展,静止变流变频技术不断完善,交流感应电动机在交流传动系统中已逐步得到应用和发展。

因为牵引电动机工作条件特殊,故在其结构设计上有许多特点和要求。牵引电动机,受轨距、轮径尺寸的限制,不同于一般工业用电动机。电动机在有限的空间尺寸,要具备大的容量,还要受轮轨间动力作用影响和承受强烈冲击振动;在恶劣多变的工作环境下,如雨雪,尘埃浸入,频繁启动、制动,甚至过载情况下运行。故在结构设计上,应能充分利用车体内部空间,结构紧凑,采用较高级别的绝缘材料和导磁体以及工艺措施,使之具备较高的机械强度,良好的通风散热条件和防尘、防潮能力。

变流装置 装在交流电力机车的主电路中,其功能是对直流和交流进行转换,对牵引电动机的转速加以调节控制,从而调控电力机车的运行速度。变流装置一般采用大功率电子器件(二极管、晶闸管、可控晶闸管)、电抗器、电容器等组成交流电力机车需要的不同变流电路的多种牵引变流装

置。(见电力机车变流)

主变压器 也称牵引变压器,用在工频单相交流电力机车或动车组上,作为改变电源电压的装置。其结构和作用原理与一般变压器相同,在铁芯上分别绕有高压绕组(也称一次绕组)及低压绕组(也称二次绕组),还有其他专用绕组(或称辅助绕组)。其高压绕组经过主断路器、受电弓与接触网导线相连,低压绕组根据机车的变流装置和调压方式,可以分成几个分段绕组,如桥式、中间抽头式或多段桥式,将

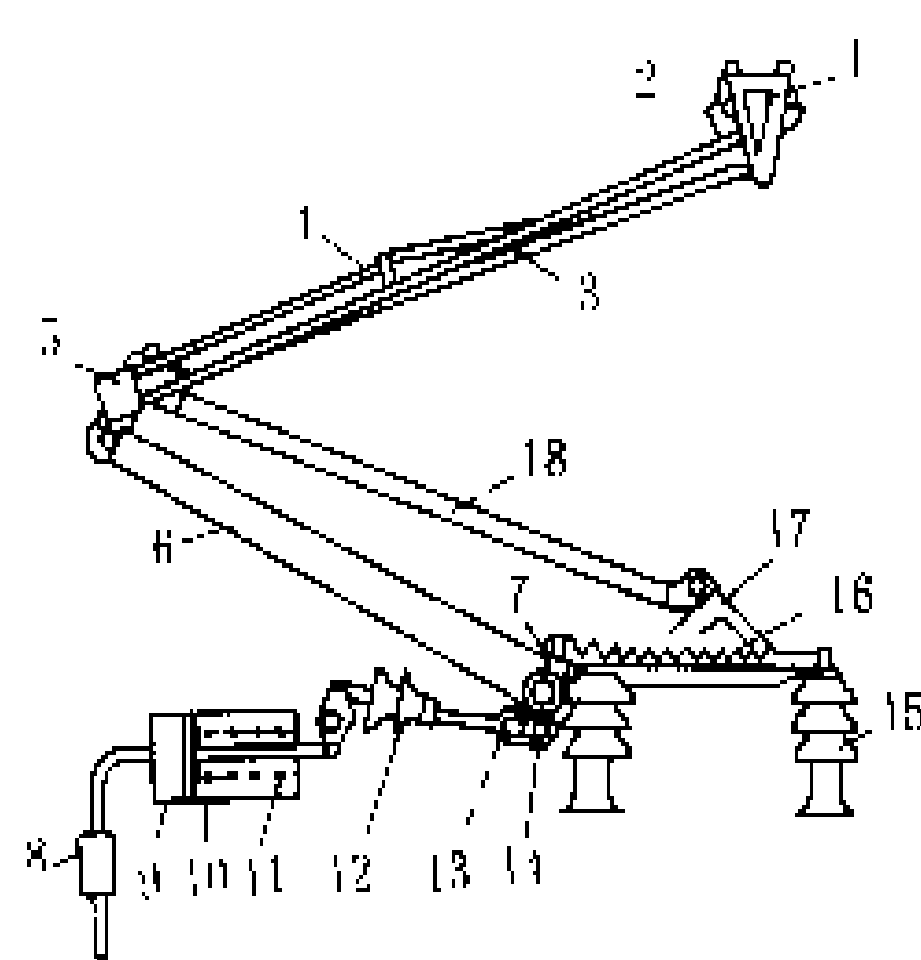


图1 单臂受电弓结构图

1—滑板; 2—支架; 3—平衡杆; 4—上框架; 5—铰链座; 6—下臂杆; 7—扇形板; 8—缓冲阀; 9—传动气缸; 10—活塞; 11—降弓弹簧; 12—连杆绝缘子; 13—滑环; 14—连杆; 15—支持绝缘子; 16—升弓弹簧; 17—底架; 18—推杆

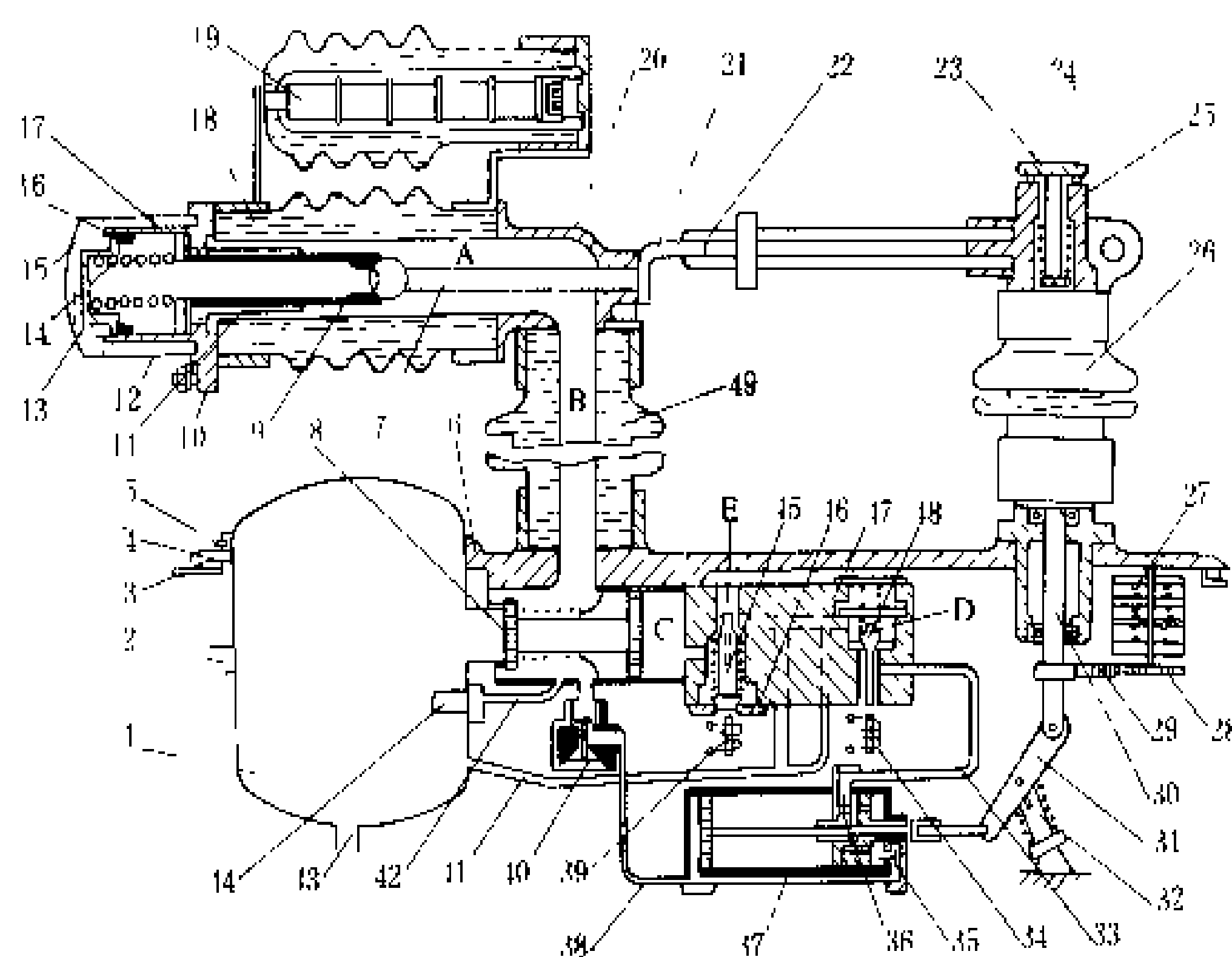


图2 中国韶山型3型电力机车用TDZ-400/25型空气主断路器结构图

1—储气罐; 2—进气口; 3—机车顶盖; 4—底板; 5—密封圈; 6—紧固环; 7—静主触头; 8—主阀; 9—动主触头; 10—法兰盘; 11—导电管; 12—外罩; 13—圆筒; 14—弹簧; 15—网罩; 16—缓冲垫; 17—弹簧座; 18—灭弧室瓷瓶; 19—非线性电阻片; 20—气道接头; 21—隔离开关静触头; 22—隔离开关闸刀; 23—连接杆; 24—铜滚珠; 25—法兰盘; 26—转动瓷瓶; 27—辅助开关; 28—齿轮; 29—扇形齿轮; 30—轴; 31—杠杆; 32—定位机构; 33, 38, 41, 42—管; 34—合闸电磁铁; 35, 36—止回阀; 37—传动气缸; 39—分闸电磁铁; 40—延时阀; 43—排气口; 44—通风塞门; 45—分闸阀阀杆; 46—分闸阀阀盖; 47—起闭阀; 48—合闸阀阀杆; 49—支持瓷瓶; A, B, C, D, E—腔

电力供给变流装置,再送给牵引电动机。辅助绕组有的也经过变流变频装置对各辅助电路的电机及电器供电。牵引变压器通常放置在交流电力机车的车体中央或吊悬在车体下部,安装部位需采用减振缓冲措施。

受电弓 从接触网接受电能的电气装置,装在电力机车或动车的车顶上。受电弓有单臂弓(见图1)和双臂弓两种,由滑板托架、上框架、下臂杆(双臂弓为下框架)、底架、弹簧、传动气缸、阀类及支持绝缘子等组成。使用较多的是单臂弓。中国韶山型机车采用单臂弓,在初期曾用过双臂弓。

受电弓升降利用控制电路操作传动气缸,使压缩空气推动活塞、阀类、升弓或降弓弹簧、下臂杆等作用进行升弓或降弓。为了保证良好的受流条件,受电弓与接触导线之间保持一定的接触压力。为了稳定可靠地受流,要求受电弓的结构型式、参数选择和接触网悬挂方式应有很好地配合。(见电力牵引接触网)

主断路器 用于交流电力机车上闭合或开断高压主电路的总断路器,兼作过载及短路故障的主保护断路器。按其灭弧介质区分有空气断路器和真空断路器两类。空气断路器用压缩空气灭弧,真空断路器用高压真空阀灭弧。空气断路器结构及动作原理与一般工业用空气断路器基本相同,但由于用在机车上,操作频繁,兼有控制及保护作用,因而要求比一般工业用空气断路器的工作寿命更长(10^6 次以上),体积、重量也由于受空间限制要求更紧凑。真空断路器利用在真空中有高绝缘能力和电弧扩散作用的高压真空阀进行灭弧;合闸时利用压缩空气,分闸时激励分闸线圈,使分闸弹簧产生强大的拉力进行分断,分闸弹簧的行程较小(约30 mm),操作机构简单,体积小,重量轻。真空断路器也在逐步用于电力机车及电动车上。

中国韶山3型电力机车采用TDZ—400/25型空气主断路器,其结构见图2。CB105型真空断路器(日本产)见图3。

劈相机 也称分相机,将单相交流电改变为三相交流电的旋转电机,作为交流电力机车驱动辅助电动机用的三相交流电源。劈相机可以是同步电机,也可以是异步电机。中国韶山型电力机车的辅助电路采用异步劈相机供电。异步劈相机的构造与普通三相异步电动机相同,定子上有三相绕组,转子通常为鼠笼式的。当其中某相定子绕组接到单相电源时,流经另外两相定子绕组中的电流产生正弦的脉动磁场。如果用某种方法使转子转动起来,这时劈相机就是一台运行的单相异步电动机。脉动磁场可分解为正负序旋转磁场,劈相机转动以后,其正序旋转磁场和转子中的感应电流作用产生转动力矩,同时该磁场切割三相定子绕组并感应出在空间相差为 120° 电角度的三相电动势,形成

一台三相发电机,供电给机车的辅助电路。劈相机启动可采用分相电容启动或者电阻启动,速度上升之后切除启动电阻,再接入负载。

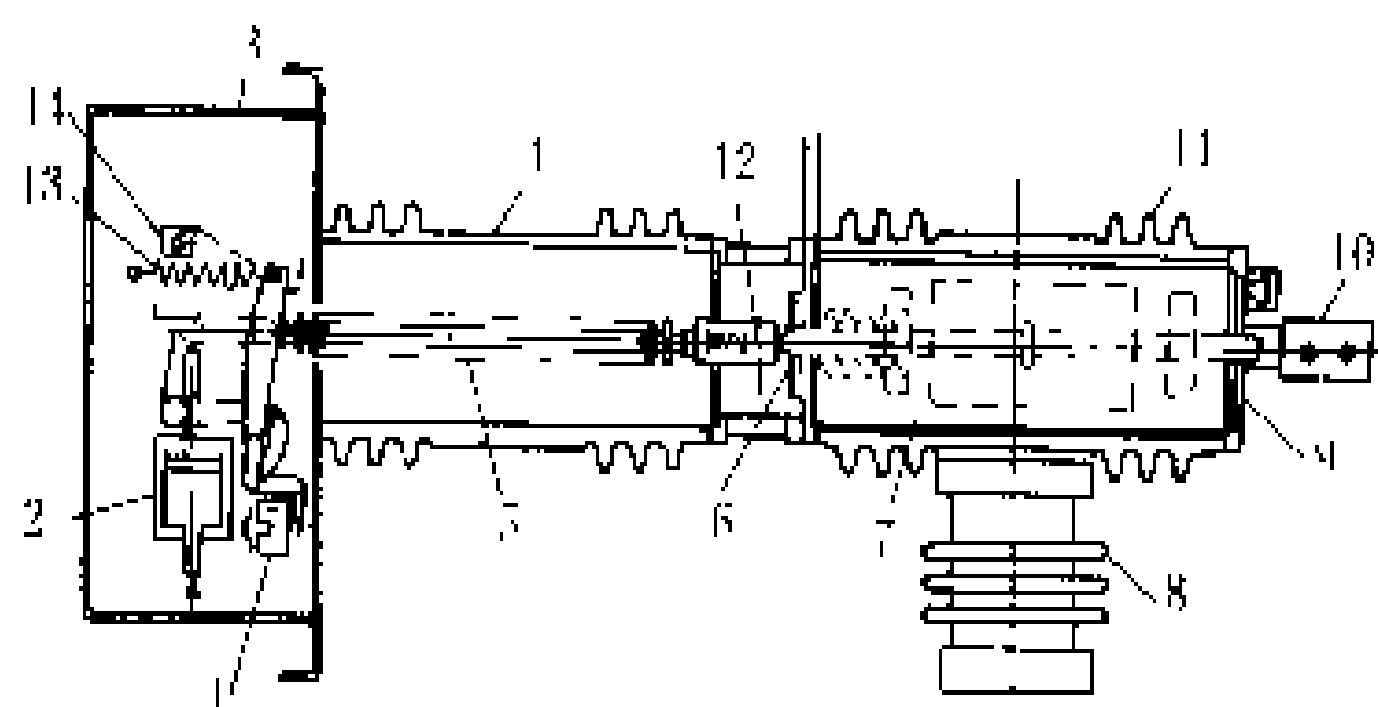


图3 CB105型真空断路器剖面图(日本产)

1—开断线圈;2—传动气缸;3—控制箱;4—支持瓷瓶;5—绝缘操作杆;6—触头;7—真空阀;8—支持瓷瓶;9—盖;10—端子;11—保护瓷瓶;12—动触头;13—开断弹簧;14—辅助开关

(商福崑)

dianli jiche kangzhi

电力机车控制 (electric locomotive control)

用机车的操作与控制装置,控制机车的主电路及其辅助电路的电机、电器,使之按照规定的程序动作,并发挥机车的牵引、制动能力,控制列车的运行状态,安全、经济可靠地完成运输任务。

分类 可分为人工控制即手动控制(也称司机驾驶)及自动控制两种,还可分为有级(非连续)控制和无级(连续)控制两种。

人工控制 由司机操纵控制器、有关控制开关、接触器、继电器、电控阀、电子控制装置等完成机车的前进、后退、加速、减速、启动、停车等作业。

自动控制 由司机选定指令信号后,通过机车各种电气自动控制装置,实现机车各种技术性能的控制,如恒转矩启动、恒功率运行、恒速控制、防滑行、空转、再生制动以及故障自动监测等。

一般在机车运行速度较低的情况下(低于120 km/h)可由司机手动控制;但在高速运行时(高于200 km/h),凭借司机的视力及听力来不及反应和监视,必须由自动控制装置控制列车运行。在自动控制时,司机能够更集中注意力以保证列车安全运行。

有级控制 早期的电力机车控制系统,较多是有触点的组合电器,如组合调压开关、反向器、控制器等。它们的控制过程是有级的、非连续的。

无级控制 现代的机车,大多采用各种半导体和微电子技术的无触点自动控制装置,控制过程是自动连续的,使机车的性能有很大提高。



控制原理 控制电力机车起动是机车基本工况之一,也是考核司机操作水平的一项基本指标。机车的起动是控制速度由零逐渐上升到运行速度的加速过程。也是一种速度调节。

控制电力机车的起动过程,以韶山型电力机车为例,司机将控制器手柄放在“固”位与“升”位之间反复移动,调压开关则逐级进级,电压逐级升高,机车的起动电流在规定值之间(最大值与最小值)摆动,直至起动结束,整流电压达到牵引电动机的额定电压,电力机车按其自动速度曲线运行。这种电力机车运行中的各种参数(电压、电流、速度、牵引力等)的改变,均需司机手动操作控制系统。这种系统即为手动(人工)控制系统,属于有级(非连续)控制。司机有时为了提高机车速度,将控制器调速手柄放在“快升”位,此时,调压开关在伺服电动机带动下连续进级升压,机车速度也迅速自动提高。这时控制系统、电器的动作顺序和线路的转换都自动进行,但机车的参数(电压)的改变仍是有级的(非连续的)。这种控制方式为非连续的自动控制,又称开环自动控制系统(控制系统中没有反馈回路),见图1。

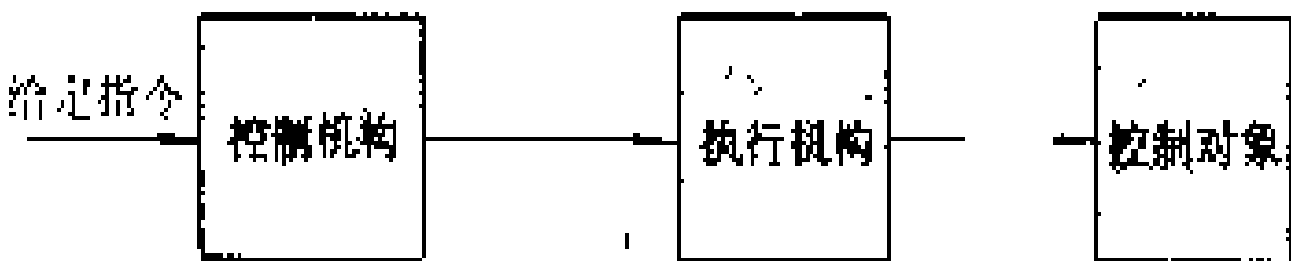


图1 开环自动控制系统

具有晶闸管级间调压的韶山1型电力机车及法国制造的6G型电力机车的恒流起动装置均属于无级的(连续的)自动控制系统。司机根据线路条件、牵引参数、牵引列车类别选定合适的起动电流值,并将司机控制器手柄放在恒流起动位置上。机车在起动过程中起动电流维持选定数值不变。随着列车速度升高,牵引电动机的反电动势增加,此时通过自动调节系统的作用,外加之牵引电动机的整流电压也相应提高,从而保持起动电流值仍是恒值不变。恒流起动可以充分地利用机车的粘着重量,缩短起动时间。这种控制系统不仅电器的动作和线路的转换都是自动进行,而且机车的起动电流也是平滑连续地自动调节,保持恒值,故为连续的自动控制。这种系统是一个闭环自动控制系统。在此系统中通过反馈回路的检测机构将被控对象的被调节参数送回并与给定值比较,然后将其差值输入控制机构对被控参数进行再调整,形成闭环的自动控制系统,见图2。

闭环自动控制系统的给定值可以是牵引力、速度或功率,比较器将给定值与检测值的比较差值 $\pm \Delta e$,传给调节器处理,按一定的函数关系,将调节变量传给执行机构。电力机车是一个惯性很大的系统,为了得到

准确、稳定、响应快的调节效果,常用双闭环自动控制

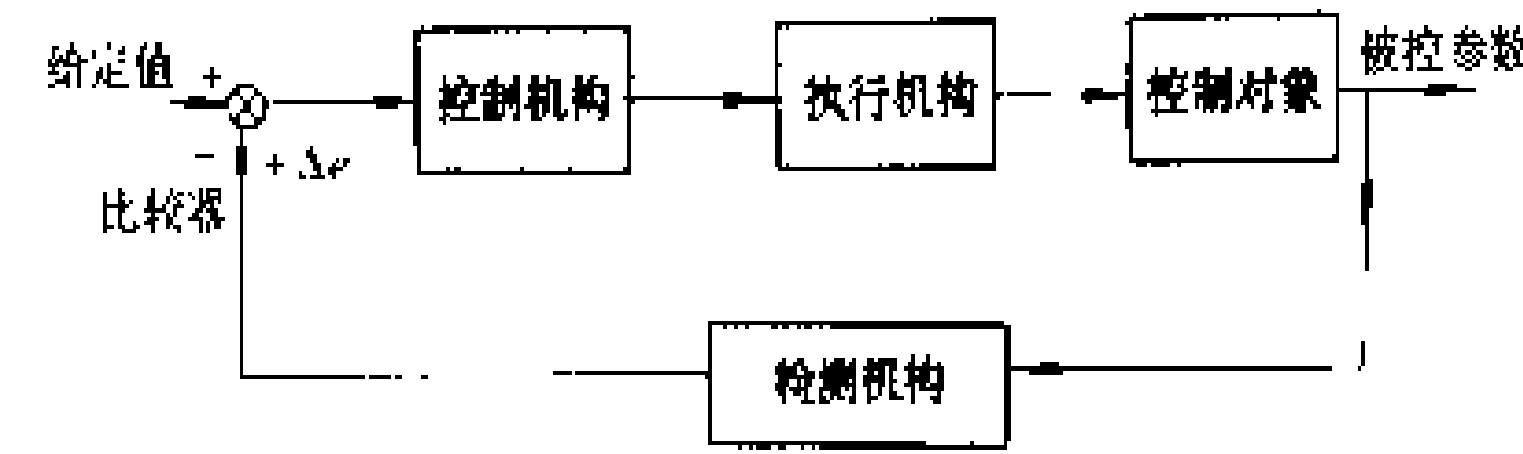


图2 闭环自动控制系统

系统(见图3)。该系统以速度调节为主调环节(外环),电流(牵引力)为辅调环节(内环)。外环实现司机指令的调节,内环实现执行环节的控制,外环的输出作为内环指令。图3中 v_g 、 v_f 为给定速度与反馈量, I_g 、 I_f 为电流给定与反馈量。 α 为整流桥(执行单元)的电压控制角, U_d 为整流电压。这种闭环调节系统对于机车调速,有良好的静态和动态调节特性。

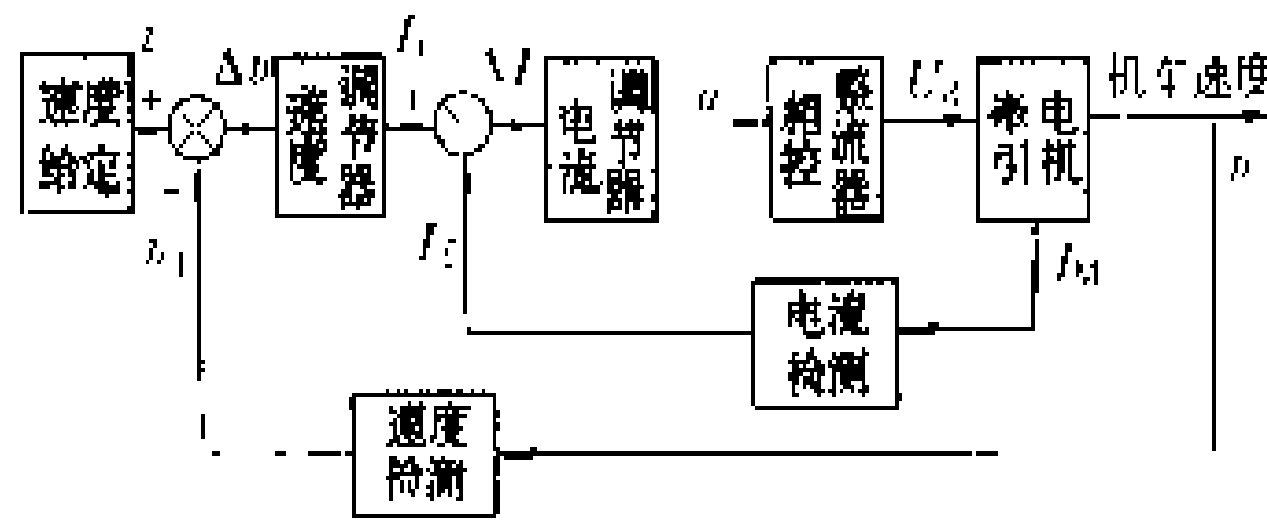


图3 双闭环控制系统

起动要求 一般按直流机车和交流机车两大类考虑。对起动的基本要求是:快速平稳起动,且起动过程中能量损耗小。电力机车起动受线路粘着条件和牵引电动机换向条件的限制。随着电力机车牵引电动机的不断发展和完善,完全可以保证在粘着条件允许范围内具有良好的换向,所以电力机车的起动实质上仅受线路粘着条件的限制。增大起动电流(即牵引力)虽能缩短起动过程,但起动电流不宜过大,如果超出粘着条件允许,破坏了轮轨之间的粘着,机车则发生空转,反而降低牵引力。

电力机车理想的起动控制方式是无级平滑起动,保持起动电流恒值,即所谓恒流起动。其优点可保持起动电流和起动牵引力不变,使粘着条件一直维持在最大值,发挥大的起动牵引力,缩短起动过程,并可平稳起动,没有机械冲击。晶闸管整流器电力机车可以实现无级平滑起动。

起动方式 有以下几种。

(1)直流电力机车的变阻起动。直流电力机车在起动时,牵引电动机的电枢回路中串有起动电阻,起动过程中根据设计要求,逐级切除起动电阻,待起动电阻全部切除后,即起动结束。起动电阻是按短时发热设计的,不能在电枢电路内长时间使用,只在起动过程中为限制起动电流用。这种变阻起动方法,一般用于直流电力机车上,已逐渐被晶闸管直流斩波器取代。变阻起动在起动过程中有能耗损失,不能平滑无级调节,属有级

调节。

(2)降压起动。这种起动方式能降低牵引电动机的端电压,限制其起动电流。因牵引电动机在起动初始瞬间,还没有建立反电动势,起动电流大小主要取决于牵引电动机的端电压,所以机车起动时需降低牵引电动机的端电压。交流电力机车利用车上的牵引变压器,通过其绕组的抽头换接调节其输出电压,以降低作用在牵引电动机上的端电压。交流电力机车(尤其整流器式电力机车)广泛采用这种降压起动方法。另外,晶闸管相控调压起动也属于降压起动的一种形式。

调压控制 韶山3型交流电力机车采用由硅整流器与调压开关及相控桥级间调压装置组成的硅整流器8级晶闸管级间调压控制。机车牵引变压器低压绕组有5段,通过调压开关的10个触头与一个半控桥和一个二极管整流桥组成相当于8级相控桥调压系统(见图4)。在第一级时,触点1、2闭合,相控桥投入调压,在第1、第2级转换期间,先闭合1、2、3触点,由二极管取代半控桥,随后触点2断开,触点4闭合,Δu₁作为开关桥,Δu₂作为调节桥,进行平滑级间调压过渡,其中8级经济调压桥,可提供良好的调压效果和较高的功率因数,并可减少牵引力的冲动,有利于粘着利用。

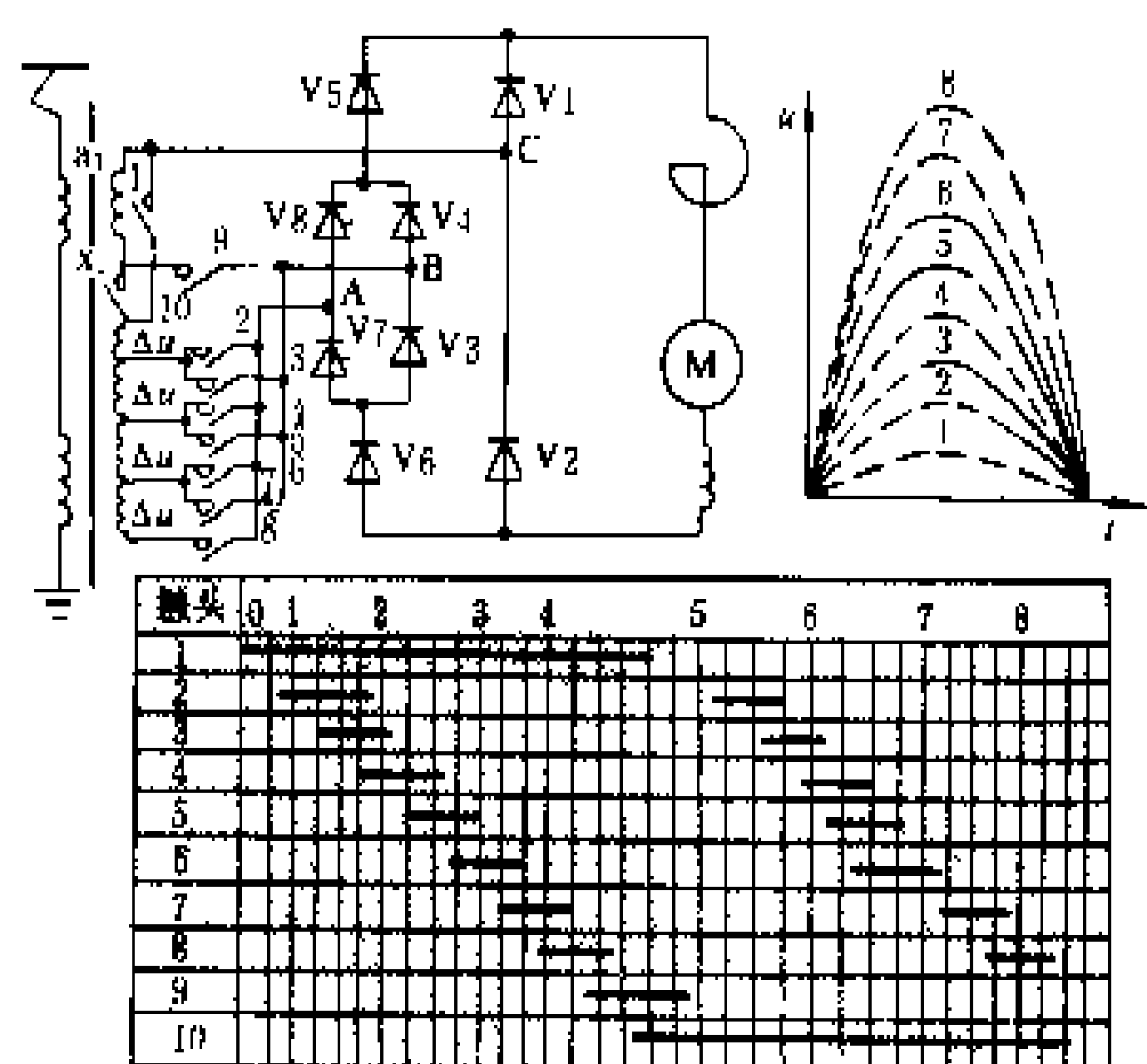


图4 韶山3型电力机车调压控制

相控调压控制 韶山4型电力机车采用四段不对称半控桥相控调压。牵引时可实现恒流或恒压闭环控制,电阻制动时,控制励磁电流,可实现恒速制动。控制系统设有防空转、防滑行及最大电流等保护装置。由司机主控制器上有调速手轮及辅助手轮,用于调速及给定电流限定值,可以选定三种控制牵引力或速度方式:①恒压限流(辅助手轮在32位)可适应重载起动;②恒流限压(调速手轮在32位)可适应调车或单机运行;③主、辅手轮同步动作,用于限流、限压,快旋转相当于重载,慢旋转相当于轻载,由司机控制。电阻制

动时用主轮调速,励磁电流被限定为最大值,辅轮不调节。若用辅轮控制励磁电流,则主轮不调节。制动力分为11级,二级制动电阻切换,按照车速自动实现。

交流-直流-交流电力机车的控制 作为交流-直流-交流电力机车的牵引电动机一般多采用异步牵引电动机,其调速控制则用变频调速。因为异步电动机的同步转速与输入电流的频率成正比,所以改变供电电源频率可以改变转子的旋转速率。一般笼型感应电动机的转子电流系由定子感应产生,定子电流中既有建立磁场的无功分量,又有产生转矩的有功分量。它们之间与电机电压、频率及转速有紧密的耦合关系。为了控制异步电动机的转矩和转速,必须对其定子的电压与频率进行有效控制,从而有效地控制其磁场及电流即电机的电磁转矩。而异步电动机的控制方法可以分为转差控制、磁场矢量控制及直接转矩控制。

转差控制 是最先采用的控制方法,根据异步电机的稳态理论,利用实测的异步电机的转速频率(f_r)与给定的转差 Δf 之和,作为电机逆变器的输出频率(f_s),在调速过程中保持电机逆变器的电压(u_s)与频率 f_s 之比为常数($u_s/f_s = \text{常数}$),调节 Δf 即可调节电机的转矩。在低频段适当提高 u_s 以补偿定子电阻产生的压降。转差控制电路简单,但动态响应较慢,其转矩受转子电阻影响较大。

磁场矢量控制 以异步电动机的动态微分方程为依据,利用矢量变换与运算,以转子磁通的空间旋转矢量为坐标,将定子电流解耦为与磁场及转矩相对应的分量,分别加以控制,可获得良好的动态特性。它受转子电阻影响小,不需高精度的测速,但需大量的矢量运算,控制系统要求高,主电路元件要有较高的开关频率。

直接转矩控制 控制电机逆变器,使异步电机定子磁通空间矢量,按照预定的轨迹运行。根据定子的磁通和电流计算转矩的瞬时值,并与给定值比较,以控制磁场的“旋转”和“停止”,控制转矩在给定的误差范围内。这种控制方法与磁场矢量控制一样,有良好的动态特性,但也要求有较高的元件开关频率。20世纪90年代初,机车上开始采用这种控制方法。

参考书目

马开国主编. 电力机车概论. 北京: 中国铁道出版社, 1990

(张锡斌 商福崑)

dianli jiche tiaosu

电力机车调速 (electric locomotive speed control)

电力机车牵引列车运行中,根据运行条件,对机车的运行速度进行控制和调节的技术。电力



机车调速的目的是充分发挥机车的功率，提高运输能力，完成运输任务。

列车在线路上由于线路状态、坡度、曲线、牵引重量不同，及遇有临时线路施工、进出站等需要缓行或停车的情况，速度变化范围较大，要求电力机车具备良好的调速性能，以满足运行需要。

对调速的基本要求：①在调速过程中不能中断主电路供电，由一个速度级转换到另一速度级应平稳过渡，避免牵引力突变引起列车冲动。②不因调速引起额外能量损耗。③调速方法应力求简便、可靠。

调速原理 电力机车调速实质是牵引电动机的调速问题。电力机车是以牵引电动机通过齿轮等传动装置驱动机车运行的。电力机车中应用较多的是直流串励牵引电动机（见直流电动机），这种电动机有调速简单，调节范围广，起动力矩大等优点。直流串励电动机的转速公式为

$$n = \frac{U_a - I_a R_a}{C_e \Phi}, \text{ r/min}$$

式中 U_a 为牵引电动机端电压，V； I_a 为电枢电流，A； R_a 为牵引电动机电路中总电阻， Ω ； Φ 为励磁磁通，Wb； C_e 为电动机结构常数。

从公式可知，改变 U_a 、 R_a 以及 Φ ，均可改变电动机的转速，达到调速目的。

分类 电力机车的调速分为直流电力机车调速、交流电力机车调速、交流-直流-交流传动系统变频调速。

直流电力机车调速 又可分为变阻调速、变压调速、变磁调速（磁场削弱）、斩波调速。前三种为有级调速，最后一种为无级平滑调速。

(1)变阻调速：其基本工作原理是改变串接在牵引电动机电路中的电阻值以调节机车的速度（见图1）。按运行要求，改变可调电阻 R 的数值，即可改变牵

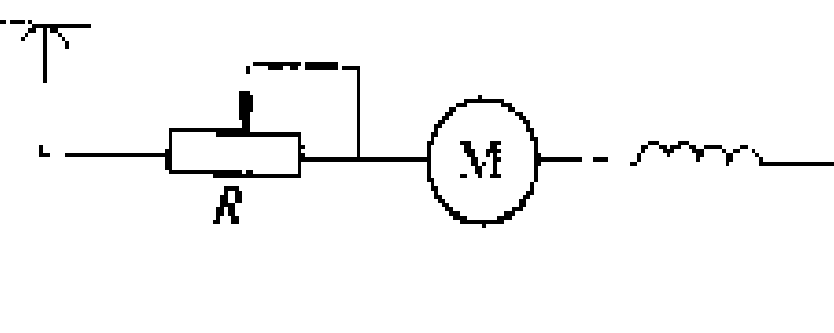


图1 变阻调速示意图

引电动机的端电压，从而使机车的速度变化。变阻调速的实质仍为调节牵引电动机的端电压。

变阻调速方法简单、方便，将电阻分为几级，便可得到几级调速，但在电阻上有能量损耗，不经济。它是有级调速，难以实行平滑无级连续调节，故只用在直流电力机车上，作为短时起动调节，不能长期运行。一般在城市电车上普遍采用变阻调速，而干线大功率电力机车上不采用变阻调速方法。

(2)变压调速：改变作用于牵引电动机上的电压来调节机车的运行速度。这种调压方法，也称为电机的串并联调压方法。在直流电力机车上，通常其牵引电动机直接与接触网连接，中间无变换装置，利用电机的串并

联方法，改变牵引电动机端电压，达到调节机车速度的目的（见图2）。如一台直流电力机车装有4台牵引电动机，开始低速运行时采用4台牵引电动机串接，每台电机的端电压为 $\frac{U}{4}$ ，当4台牵引电动机2台串联2台并联接时，每台端电压为 $\frac{U}{2}$ ，后者比前者电压提高1倍，机车速度也提高1倍；若4台电机并联，则牵引电动机的端电压为 U ，即接触网电压，因电压又提高，故机车速度再提高1倍。

这种变压调速方法，需改变牵引电动机的接线，并需相应的转换开关，线路较复杂，且为有级调速，调节级数少（2~3级），但调速时无电能损耗，比较经济，一般在直流电力机车上采用，并可与其他调节方法联合使用。

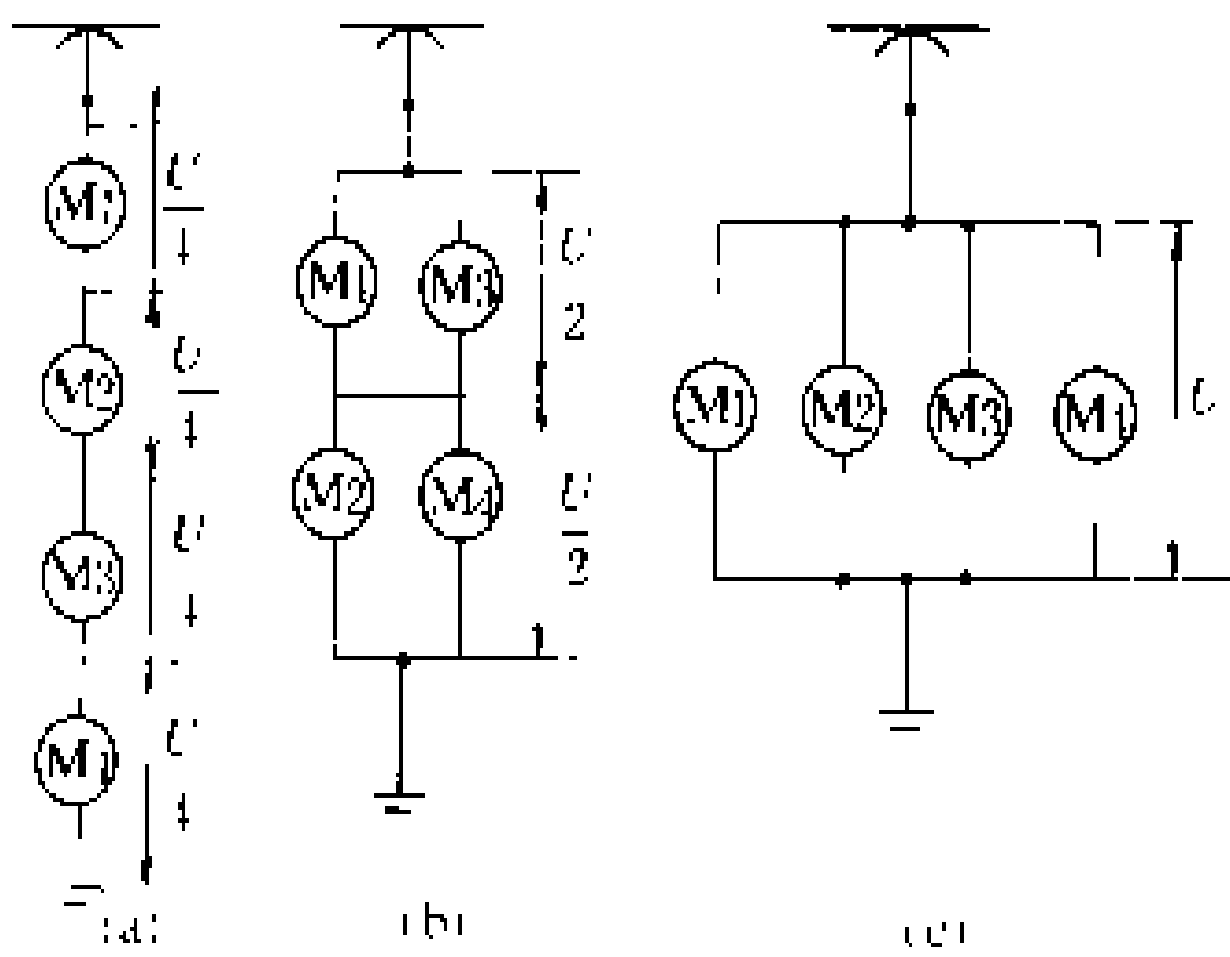


图2 改变牵引电动机连接方式调压

(a) 4台串联；(b) 2台串联为一组，2组并联；
(c) 4台并联

(3)变磁调速：通过改变励磁即改变牵引电动机的主极励磁磁通 Φ ，来改变电机转速的方法，磁场削弱原理见图3。一般在电力机车运行时，当其速度达到额定值再进一步提速，可充分发挥高速运行时牵引电动机的功率。此时通过采用主极绕组上并联分路电阻（ $R_1 // R_2$ ）来减少牵引电动机主极磁通 Φ （一般称为磁场削弱），从而使电机电流一部分流经分路电阻，减少励磁电流，即相应减少磁通。这种调速方法简单、方便，利用改变分路电阻值的方法，即可得到几个不同的磁场削弱强度。一般分为二级或三级磁场削弱，用磁场削弱系数表示削弱程度。

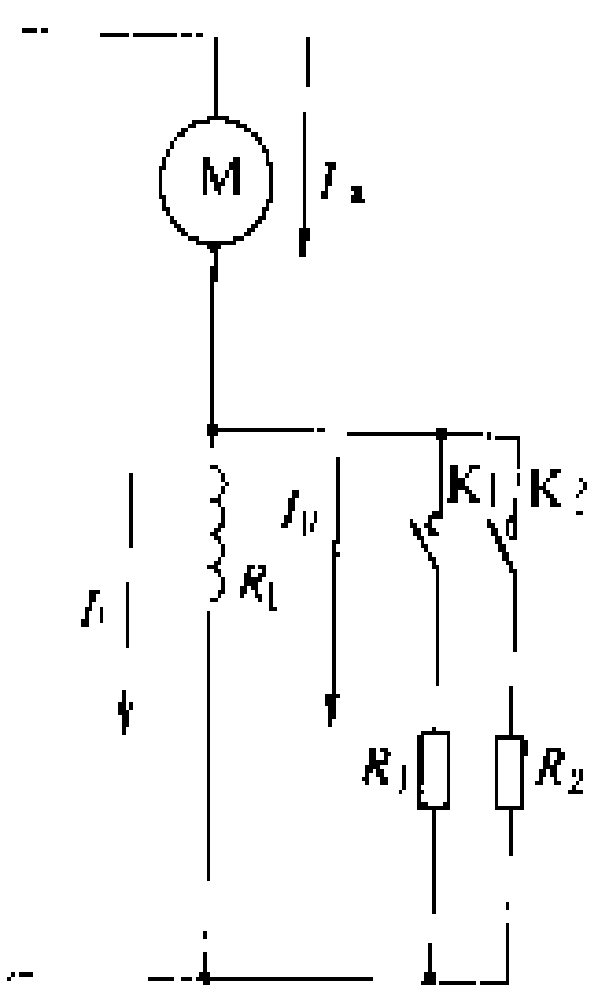


图3 磁场削弱原理

(4)斩波调速：在直流接触网电压电源与直流牵引电动机之间接入可控晶闸管直流斩波器，通过调节可控晶闸管每一周期内导通时间（即改变导通比），可以

改变牵引电动机的端电压,从而调节机车的运行速度。这种斩波调速方法,不仅损耗小而且可以无级平滑调速。在地下铁道、动车及城市无轨电车上开始广泛采用斩波调速。(见斩波控制直流调速)

交流电力机车调速 在交流电力机车中,以整流器式电力机车用的最多。它由单相高压交流接触网供电,经过机车的牵引变压器降压和整流装置整流后以低压直流(实为脉流)形式供给直流牵引电动机。由于这种电力机车上装有牵引变压器、整流器,可以采用多种调压方式。这些调压方式既可用改变牵引变压器输出电压方法来调节牵引电动机的端电压,也可用直接改变整流装置的整流电压方法来调节牵引电动机的端电压,以达到电力机车调速的目的。利用牵引变压器的调压方法进行机车调速的优点是:调压电路简单,调速范围广,经济运行级多,调节方便,功率因数和效率比较高。采用直接改变整流电压调速方法则可实现平滑无级调速,即每级均可长期运行,都是经济运行级。牵引变压器调压方法分为高压侧调压及低压侧调压两种,使用较多的是低压侧调压。

(1) 高压侧调压:改变牵引变压器的高压侧绕组(即一次绕组)抽头,调节其输出电压,从而达到机车调速目的。高压侧调压的基本原理如图4所示。

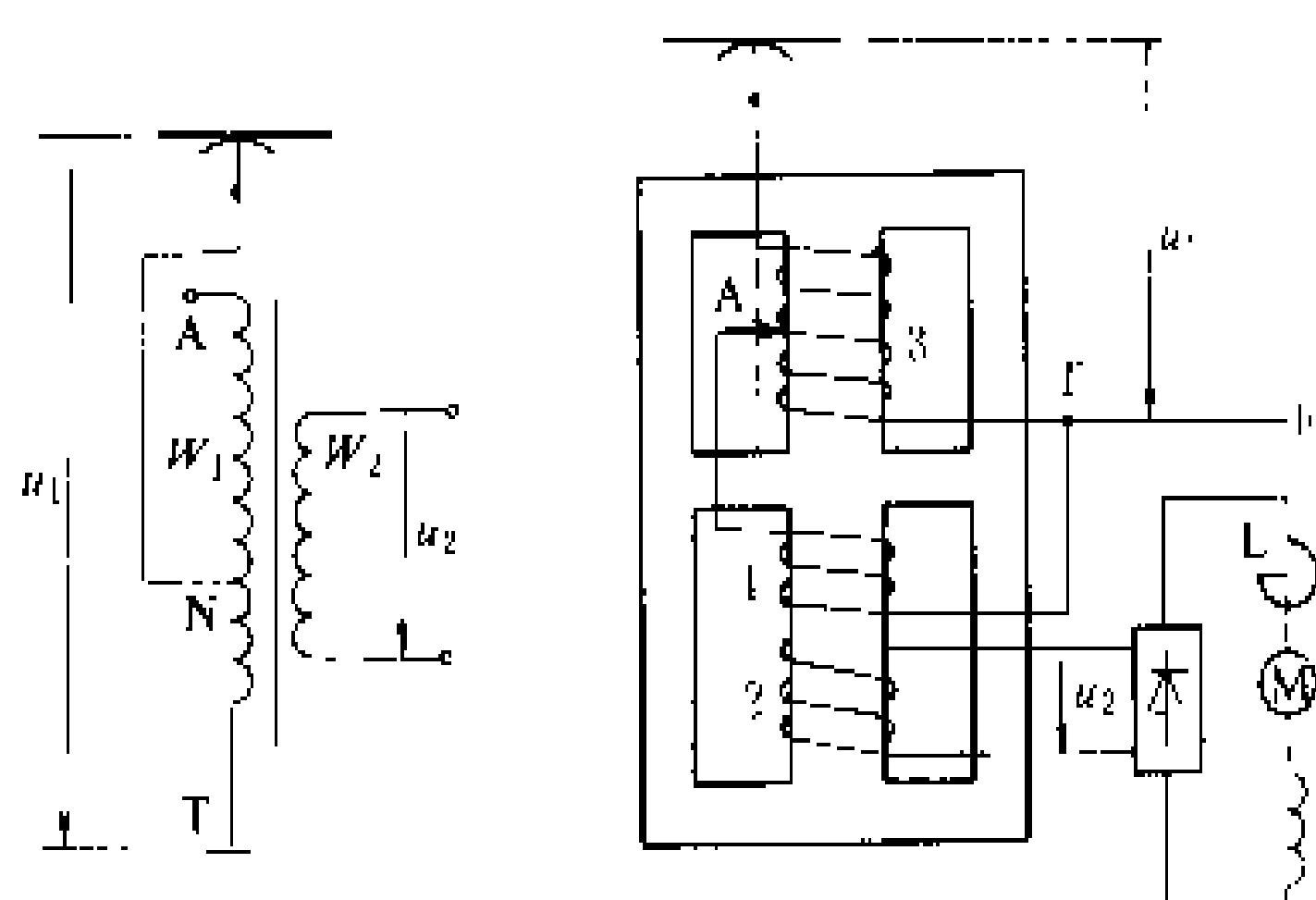


图4 高压侧调压原理

变压器的基本关系式为

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{W_1}{W_2}, u_2 = u_1 \frac{W_2}{W_1}$$

式中 W_1 为高压绕组匝数; W_2 为低压绕组匝数; u_1 为牵引变压器输入电压; u_2 为牵引变压器输出电压。

若牵引变压器低压绕组匝数 W_2 不变时,改变高压侧绕组匝数 W_1 ,则可改变牵引变压器输出电压 u_2 。但实际中,对变压器而言,不能简单直接地改变高压侧绕组匝数。在机车起动时,将高压侧绕组 W_1 的全部匝数接入接触网电压,以便得到最小输出电压。此时A点与接触网电位相同。在调压过程中,需逐步减少 W_1 匝数,来提高低压侧输出电压。输出电压达到最大值时,N点电位仍与接触网电位相同,而A点此时电

位升高很多,为接触网电位的几倍 $\left(\varphi_A = \varphi_N \frac{W_{AT}}{W_{N1}} \right)$ 。为

此,要求变压器的绕组绝缘水平大大提高,设计制造更复杂。实际上高压侧调压的牵引变压器是一台高压自耦变压器与一台一般双绕组变压器的组合,除有高、低压绕组外,还有一个调压绕组(直接与接触网连接),三个绕组共同耦合在一个铁芯柱上。在机车起动之前A、T两点重合,此时高压绕组1的两端电压为零,低压绕组2的两端也无输出电压。然后A点向上移动,高压绕组1上电压逐渐升高,低压绕组2感应相应的输出电压 u_2 ,经整流后供给牵引电动机。调压绕组有若干个绕组抽头,通过高压调压开关将高压绕组A点与调压绕组的相应抽头连接,有几个抽头便可得到几级调压。抽头多,调压级也增多。高压侧调压是有级调压,增加调压级数,以及有调压绕组的存在,都将使变压器的结构复杂、设计容量增加,在机车低速运行时,其效率及功率因数降低。

高压侧调压的优点是:调压过程中转换电流较小(一般为几百安),开关电器抽头的引线尺寸小、重量轻、调压级数较多(30级左右),对合理选择牵引电动机端电压有利。

(2) 低压侧调压:也是利用改变牵引变压器低压绕组匝数,达到调节供给牵引电动机的电压,控制机车速度的目的。低压侧调压的优点:牵引变压器的容量较小,对调压开关(为转换变压器低压侧绕组抽头用)的绝缘水平要求较低,机车低速运行时的效率及功率因数较高。其缺点为:由于牵引变压器低压侧电流比较大(数千安),所以要求调压开关转换电流比较大,低压绕组匝数比较小,设计安排调压用的抽头有一定限制,这一点不如高压侧调压方便。为得到较多的调压级数,采用一些特殊的调压线路。例如,中间抽头式(简称中抽式)调压电路将低压侧绕组每相再分为基本绕组与有几个抽头的可调绕组,利用调压开关的绕组转换开关,将两部分绕组进行正接或反接,调节牵引变压器的输出电压,可得到较多的调压级数。按规定程序调节,可使输出电压逐级升高,在最高调压级时,输出电压达最大值(为基本绕组与可调绕组电压之和),反方向调节电压则输出电压下降。这种中间抽头式调压电路在调压过程中,在奇数级时正负半周中两相绕组的输出电压相等,而偶数级时输出电压不等。不对称调压只有在两组绕组输出电压相等时的电压级上,才可长期运行。

在调压过程中,为了使调压级间转换时负载电流不致中断(不中断牵引电动机电路电流),同时牵引变压器绕组又不发生局部短路,要在高压侧调压电路中,设置有级间转换用的过渡电阻,在低压侧调压电路中设置有级间转换用硅二极管(也称过渡硅机组)或过渡



电抗器。

在整流器式电力机车上，采用中抽式整流电路低压侧调压时，一般采用有过渡硅机组的低压侧绕组、正反接的不对称调压方式。中国韶山 1 型 (SS1 型) 电力机车即用此调压方式，见图 5。

牵引变压器低压调压方式的基本调压原理也适用于桥式整流电路的电力机车。

(3) 晶闸管相位控制调压 (简称相控调压)：利用反并联连接的晶闸管接入交流侧进行反并联控制，或与二极管组成混合桥路或者全控桥路，利用相位控制直接进行相控调压，省略了调压开关，减少了主电路的开关电器，使机车主电路简化。为了减少高次谐波电流，在机车牵引变压器二次侧可用多分段绕组，在直流侧采用纵向连接，全控桥时作为逆变器可进行再生制动，晶闸管相控调压可实现无级平滑调压。

相控调压也称移相调压，它是通过控制晶闸管整流装置的导通相角，直接调节整流电压的调压方法。在相控调压时，牵引变压器低压侧输出电压 u_2 维持不变，而晶闸管整流装置起着整流与调压的双重作用。

最简单的相控调压线路是用一个半控桥式整流电路对牵引电动机供电，但这种电路功率因数很低，对通信干扰大，很少采用。在晶闸管整流器式电力机车上多用两段半控桥调压电路，见图 6。

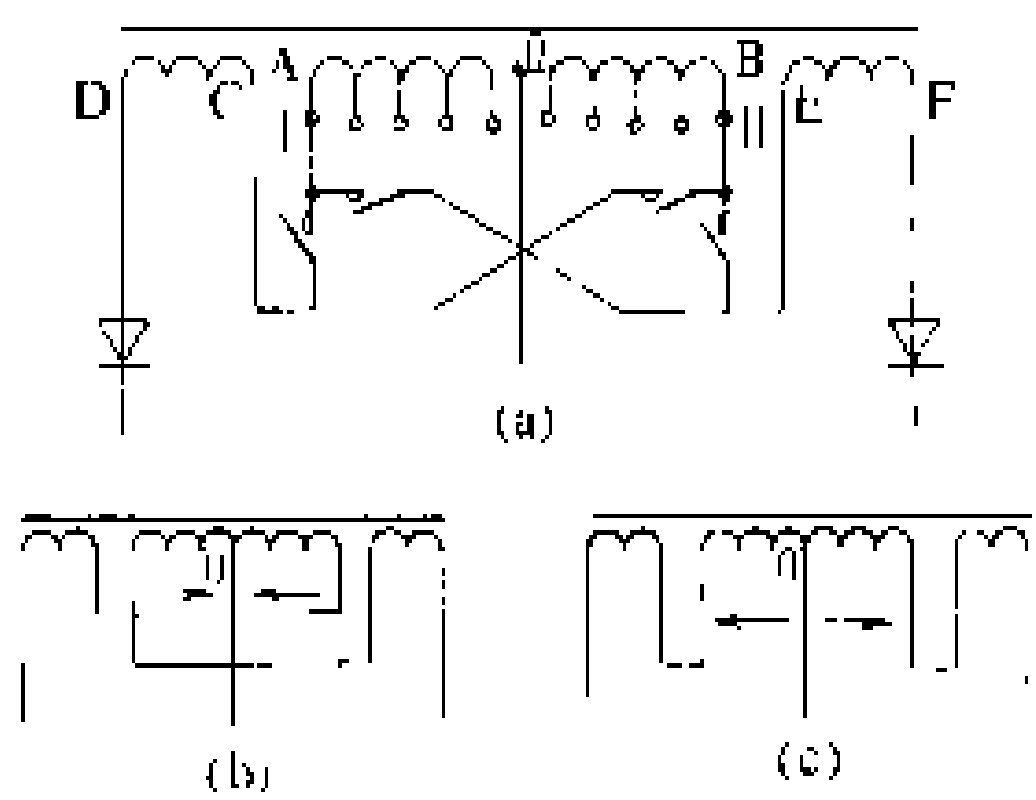


图 5 韶山 1 型机车低压侧调压及其绕组正反向连接原理
(a) 中点抽头线路；(b) 反接中抽线路；(c) 正接中抽线路

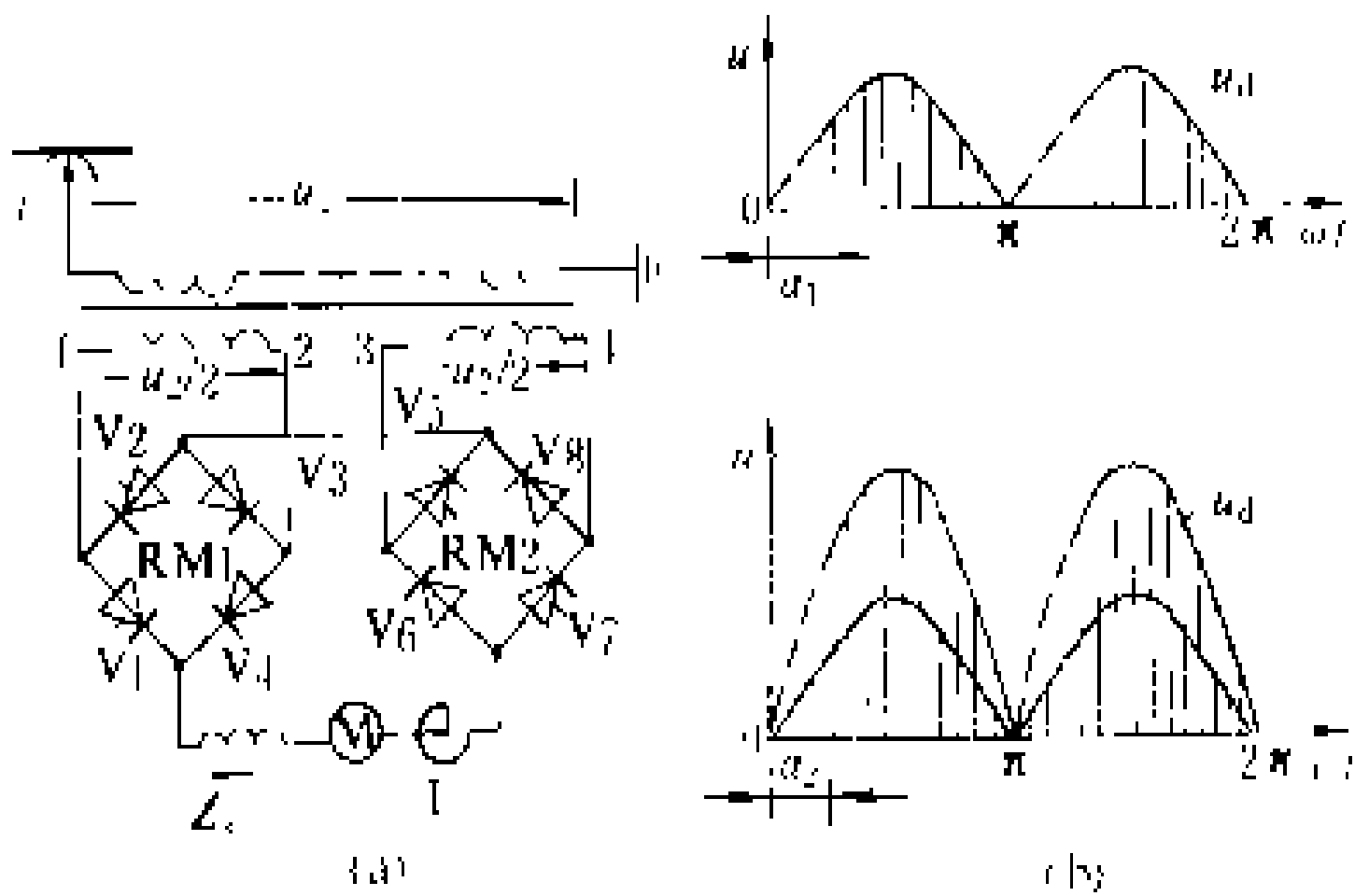


图 6 两段半控桥调压原理及电压波形
(a) 原理图；(b) 整流电压波形

该电路的牵引变压器低压侧有两段绕组，每段向一个半控桥供电，两个半控桥串联对牵引电动机供电。

调压过程分为两阶段。第一阶段半控桥 RM1 工作，RM2 中的 V7、V8 不工作，通过 RM2 中的 V5、V6 与电动机组成回路。当 V1、V2 逐渐导通时，对应于一定的控制角 α ，牵引电动机得到相应的电压，若逐渐减少控制角 α_1 ，则整流电压逐渐升高。RM1 全开通后，整流电压平均值升至 $0.5U_{d0}$ (U_{d0} 为 $\alpha=0$ 时空载电压平均值)，此时第一阶段调压结束。然后在 RM1 桥全开通基础上，投入 RM2 桥工作，继续提高整流电压，V7、V8 开通，牵引电机电压也相应提高，直到 RM2 桥全开通时，整流电压平均值达到 U_{d0} ，则整个调压过程完毕。控制角 α 的调节范围为 $180^\circ \sim 0^\circ$ ，实际上由于换相过程中有重叠 γ 存在，所以 α 的调节范围为 $180^\circ \sim 20^\circ$ ，最小允许到 18° 。

两段半控桥调压比一段半控桥虽然整流电压脉动量有所下降，机车功率因数有所提高，但为进一步提高机车功率因数，晶闸管整流器式机车采用多段桥顺序相控调压方式 (如四段桥等，见图 7)，过多分段将使牵引变压器和机车主电路结构复杂化。

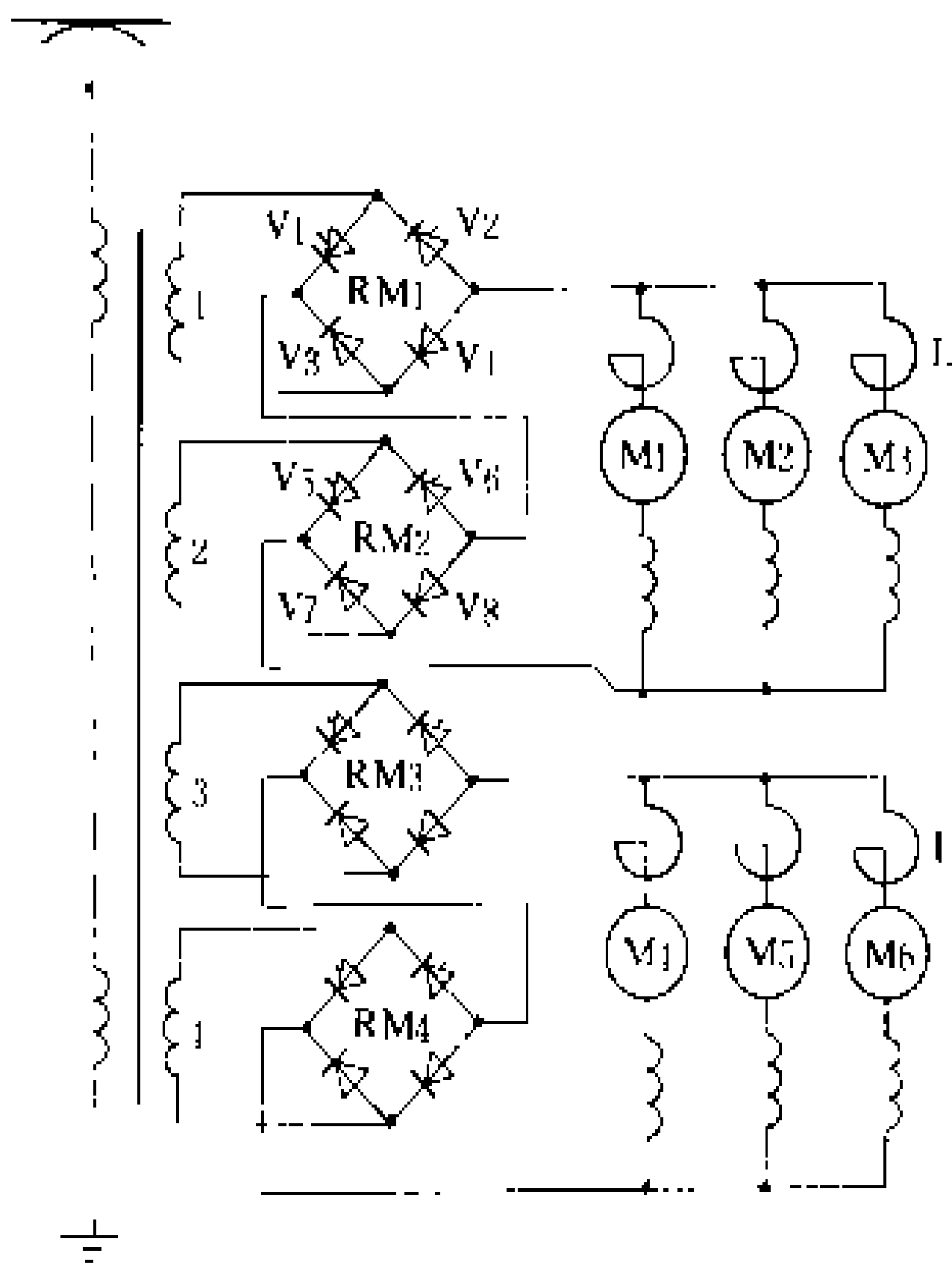


图 7 四段桥相控调压示意图

晶闸管相控调压的优点是：为无级平滑调速，充分利用粘着，可发挥机车最大牵引力及平稳操作，不需转换机车主电路，不用专门调压装置，通过控制电路改变晶闸管整流器的导通控制角 α ，即可调压。利用体积小、重量轻的多功能集成电路组成的相控调压装置，运行可靠、维修方便、寿命长。其缺点是：功率因数较低，在控制角 α 较大，且低速运行时更为严重，对通信线路有干扰。

交流-直流-交流传动系统变频调速 20 世纪 70 年代电力电子技术迅速发展，出现体积小、功率大、效率高、性能好的静止变频装置，为发展交流传动系统采

用异步牵引电动机(或同步电动机)创造了有利条件。

在交流电力牵引中,无论交流-直流-交流系统或交流-交流系统,其共同特点是由工频单相交流电源供电,而机车牵引电动机采用三相异步(或同步)电动机,为了解决牵引网供电(工频单相交流)与机车用电(可调频率的三相交流)之间的矛盾,在机车主电路内需有调频装置。

静止变频器的变频方式有两种:①有直流中间环节的间接变频(又称交流-直流-交流变频),它与交流-直流-交流传动系统相匹配;②无直流中间环节的直接变频(又称交流-交流变频,与交流-交流传动系统相匹配)。交流-直流-交流变频是将固定频率的单相交流,经整流装置变为直流,再由逆变器(变频器)将直流逆变为频率可调的三相交流,供给三相异步牵引电动机。交流-交流直接变频是将单相固定频率,用变频器直接变为可调频率的三相交流,供给牵引电动机。

交流-直流-交流电力机车传动系统变频调速方法,根据不同要求、不同控制方法可分为转差控制、矢量控制、直接力矩控制三种控制调速方法。

(1)转差控制法:是通过直接或间接的方法控制异步电动机气隙磁通,再通过控制转子的转差频率来得到所需的转矩特性。由于直接测量气隙磁通在实际中较为困难,一般都是用控制定子电压或电流来控制励磁电流,若励磁电流恒定则气隙磁通恒定。

图 8 为转差控制系统示意图。在起动及低频区段,定子电压与频率之比保持常数,电机磁通恒定,转差恒定,即电动机电流恒定,则得到电动机的恒力矩运行。当定子电压 u_1 与定子频率 $\sqrt{f_1}$ 成比例关系调速时,电动机则可得恒功率调速特性。在高速运行时,也可在维持 u_1 恒定的条件下调节 f_1 ,获得弱磁场调速,以充分扩大恒功率调速范围。

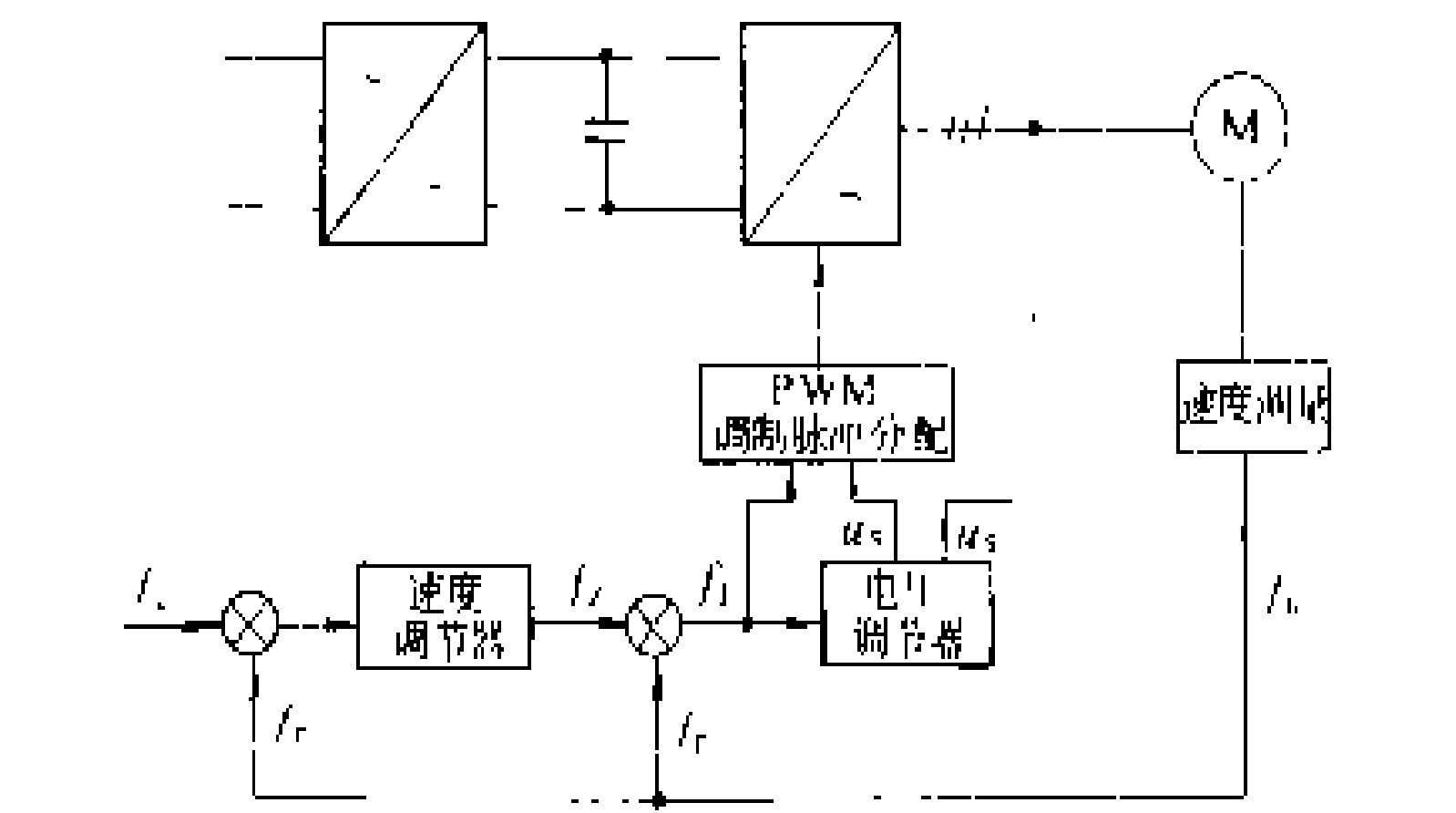


图 8 转差控制示意图

在转差控制时,被控制的量是定子电压有效值、定

子频率以及转差频率,这些都是具有平均值概念的量,这种平均值意义的控制方式,不能得到快速响应。另外,虽然转差控制既可控制磁通,又可控制输出转矩,但由于它们都与转差有关,无法实现磁通与转矩的单独控制。为了使异步电动机的变频调速系统能得到象直流电动机那样的控制灵活性和良好的动态控制性能,可以采用矢量控制方法。

(2)矢量控制法:亦称磁场定向控制,是将电机电流分解为磁场电流和力矩电流两个分量,分别加以调节。这种控制方法需进行坐标变换和矢量计算,控制电路较为复杂。有三种不同的磁场定向方法:转子磁场定向、气隙磁场定向、定子磁场定向。

(3)直接力矩控制:在直流电机中,转矩可用 $M = K I_d I_a$ 表示。 I_a 为电枢电流,用于产生转矩的电流分量; I_f 为励磁电流, I_f 与 I_a 互不影响。在交流电机中,利用坐标变换方法,首先将三相轴系变换为两相静止轴系(d—q 坐标系统),然后再将 d—q 坐标系统转换为相应的同步旋转参考系。于是交流电机的转矩也可用 $M' = K' i_{da} i_{dq}$ 确定,其中 i_{da} 为定子电流力矩分量, i_{dq} 为定子电流的磁通分量,用以产生气隙磁通。这样交流电机的转矩方程与直流电机相似,参数 i_{da} 与 i_{dq} 互不影响且能独立变化,达到分别控制要求。

图 9 为矢量控制示意图,其中 ϕ_s 与 ϕ_r 分别为磁

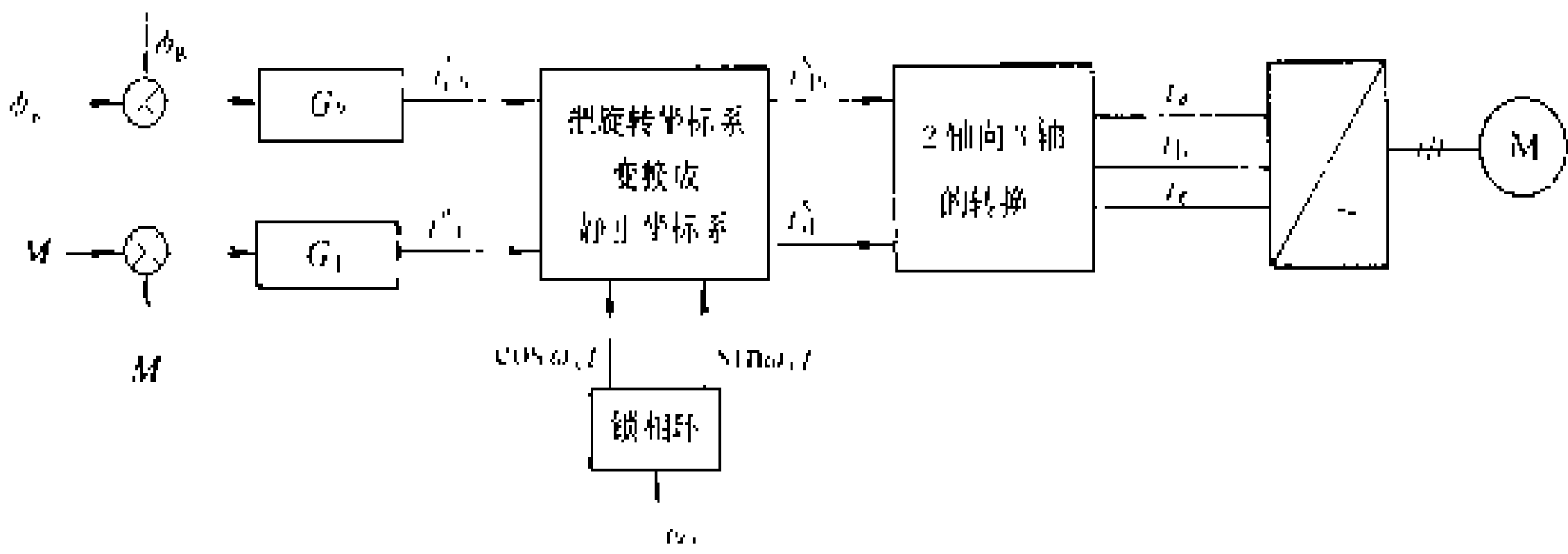


图 9 矢量控制示意图

通给定与测量(间接的)信号。 M 与 M' 分别为力矩给定与反馈值,锁相环产生信号 $\cos \omega_e t$ 和 $\sin \omega_e t$,用以把控制参量从 d—q 旋转参考系变换为相应的静止参考系。

在交流-直流-交流变频调速系统中,电源侧变流器采用四象限控制,故称为四象限变流器,亦称脉冲整流器。利用脉宽调制方法(或称 PWM),即斩波方法将逆变器输出电压调制为若干个电压脉冲,改变这些电压的方波数量和宽度及其分布规律,即可得到不同数值的电压输出,从而得到平滑的调压。主要功能可以保持中间直流环节电压稳定,使电网电流与电压同相,功率因数保持为 1;电网电流波形接近正弦波,高次谐波含量少。这种脉宽调制方法,简化了主电路,调节速



度快,系统的动态性能好,在较高频率调制时,可以得到高质量的输出电压波形,使电力机车在牵引运行和再生制动时都能得到理想的调速效果,并可抑制低次谐波,提高牵引电机低速运行的稳定性,扩大了调速范围。当然这种控制方法对于组成变流器元件的晶闸管、二极管等的技术性能要求较高,控制线路也比较复杂。四象限控制系统示意图见图 10。

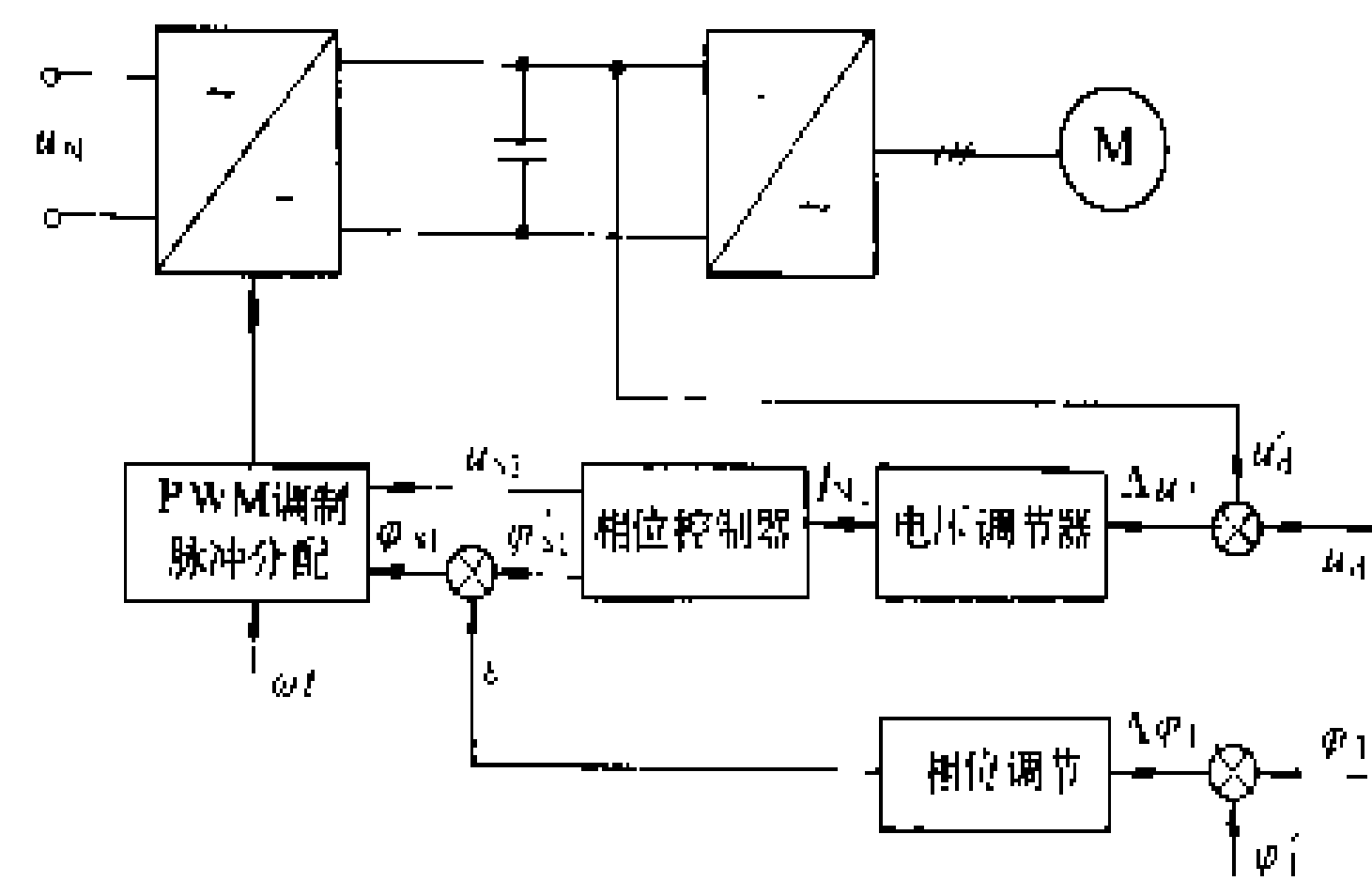


图 10 四象限控制系统示意图

参考书目

连级三,邵丙衡,卢肇铃.电传动机车控制.北京:中国铁道出版社,1980

(张锡斌 商福崑)

dianli qianyin

电力牵引 (electric traction) 以电能为牵引动力,驱动机车车辆运行,是现代铁路三种牵引动力型式(蒸汽、内燃、电力牵引)之一。电力牵引是用电力机车(或动车)从布置在电气化铁路沿线的接触网上获取电能,通过牵引电动机,将电能转换为机械能,以驱动机车运行。属于电力牵引范畴的有电气化铁路、地下铁道、矿山电力机车、城市公共电车等。

电力牵引中电力机车(或动车)的用电取自电力牵引供电系统,即外部电源。

蒸汽机车、内燃机车受其自带能源设备的限制,功率不能过大,而电力机车自身不带一次能源设备,不受锅炉、柴油机的限制,轴功率可达 1000 kW 以上,所以电力牵引能多拉、快跑,提高了运输能力。

电力牵引的能源利用效率高,由于电能由发电厂(或电站)集中生产,能源利用率比蒸汽、内燃牵引高得多。一般由高温、高压、大容量机组的火力发电厂供给电能的电力牵引的效率达 35% 左右;若由水力发电站供给电能,其效率更高。而蒸汽、内燃牵引效率分别为 7% 及 25% 左右。

电力牵引因不受自带能源设备的限制,过载能力强。电力牵引的起动加速时间短,约为内燃机车的 1/2,并且能提高运行速度、提高运输能力。

电力牵引在运行中无灰、烟等有害气体,对自然环境无污染。这对城市及大型编组站,以及多隧道、长隧道地段十分有利。

分类 根据电流、电压制不同电力牵引可分为直流系统与交流系统两大类。直流电压按需要有多种,如 600, 750, 1200, 1500, 3000 V 等。交流系统分:单相工频 50, 60 Hz, 电压 20, 25 kV; 低频 $16\frac{2}{3}$ Hz, 电压 11, 15 kV 等。

采用电力牵引的电气化铁路,比一般铁路增加了对电力机车(或动车)供电的牵引供电系统,包括电力牵引变电所、电气化铁路接触网等。按电气化铁路运输能力和运输量的需要,通过电力牵引供电计算,可选定电力机车、牵引变电所及接触网等技术装备的技术条件、参数、类型、数量等。

对电力系统的要求与影响 电力牵引对供电的安全、可靠、不间断供电有较高的要求,以保证铁路运输的安全,特别是繁忙干线、多隧道和高坡山区的电气化铁路,供电一旦中断,将严重影响运输,甚至危及人身财产的安全。另一方面由于电力牵引采用直流或交流电力机车,特别是单相工频交流牵引,采用整流器式电力机车,在相控或再生制动时,交流机车产生的高次谐波、负序电流,对通信产生干扰,并对电力系统安全运行产生影响;直流机车的迷散电流对地下金属管路、地下建筑物有腐蚀作用,也需采取有效措施,加以限制。

用电与耗能 据日本有关部门统计,电力牵引单位能耗为内燃牵引的 50%~60%,仅为蒸汽牵引 13% 左右,可见电力牵引的效率远高于其他牵引。中国铁路现存三种牵引动力型式,三种牵引动力于 1988 年燃料总耗量分别为:蒸汽牵引耗煤 1611 万 t,内燃牵引耗柴油 218.8 万 t,电力牵引耗电为 27.25 亿 kW·h。1990 年电力牵引总用电量为 37.9 亿 kW·h,占全国用电量的 0.62%。

电力牵引需有牵引供电系统接触网、变电所等,所以新建或改建电气化线路的一次投资较大。就运用灵活性而言,电力牵引也不如内燃牵引调运灵活。铁路现代化必须发展电力、内燃牵引,两者相辅相成。

发展简史 电力牵引最早始于 19 世纪(1879 年)德国人设计的小型直流电力机车。1890 年英国建成伦敦第一条采用直流供电的电力牵引——地下铁道。直流电力牵引一直沿用至今,英国、法国、日本、苏联等国仍有大量的直流电气化铁路。直流电气化铁路接触网电压种类较多,有 1200, 1500, 3000 V 等;地下铁道有 750, 1500 V;矿山用直流电力机车电压有



1500, 3000 V。直流制接触网电压因受机车电动机整流子换向的限制,不能大幅度升高。由于接触网电压不高,变电所间距离较小,只有 10~30 km,接触导线载流量不足时需用两根接触导线,耗用大量有色金属。

在 20 世纪初电力牵引改用交流系统。1933 年,匈牙利建成单相交流制,接触网电压 16000 V。1954 年法国研试单相工频交流制成功后,在日本、苏联、中国、印度等国逐渐开始推广应用。单相工频交流电压有 20, 25 kV, 频率有 50, 60 Hz。低频交流制电压有 15 kV, 频率为 $16\frac{2}{3}$ Hz 及 25 Hz。由于接触网电压高,变电所间距离一般为 30~70 km。单相工频交流电力牵引是应用最广的牵引方式。

中国电气化铁路于 1961 年 8 月正式开通宝(鸡)成(都)线的宝(鸡)凤(州)段 92 km, 接触网电压为单相工频 25 kV、50 Hz。牵引变电所一次侧由两路或三路 110 kV 线路供电,经牵引变电所的变压器降压后用 25 kV 单相供给接触网。中国的电气化铁路长度截至 1992 年底为 8700 km, 占全路营业总里程 53800 km 的 15.7%。大力发展电力牵引将促进铁路运输进一步发展,也符合中国一次能源结构以煤为主,能源开发以煤为基础以电力为中心的总方针。1995 年末,电气化线路将再建 5600 km, 届时电气化线路将占 23%。

(孙占一 商福崑)

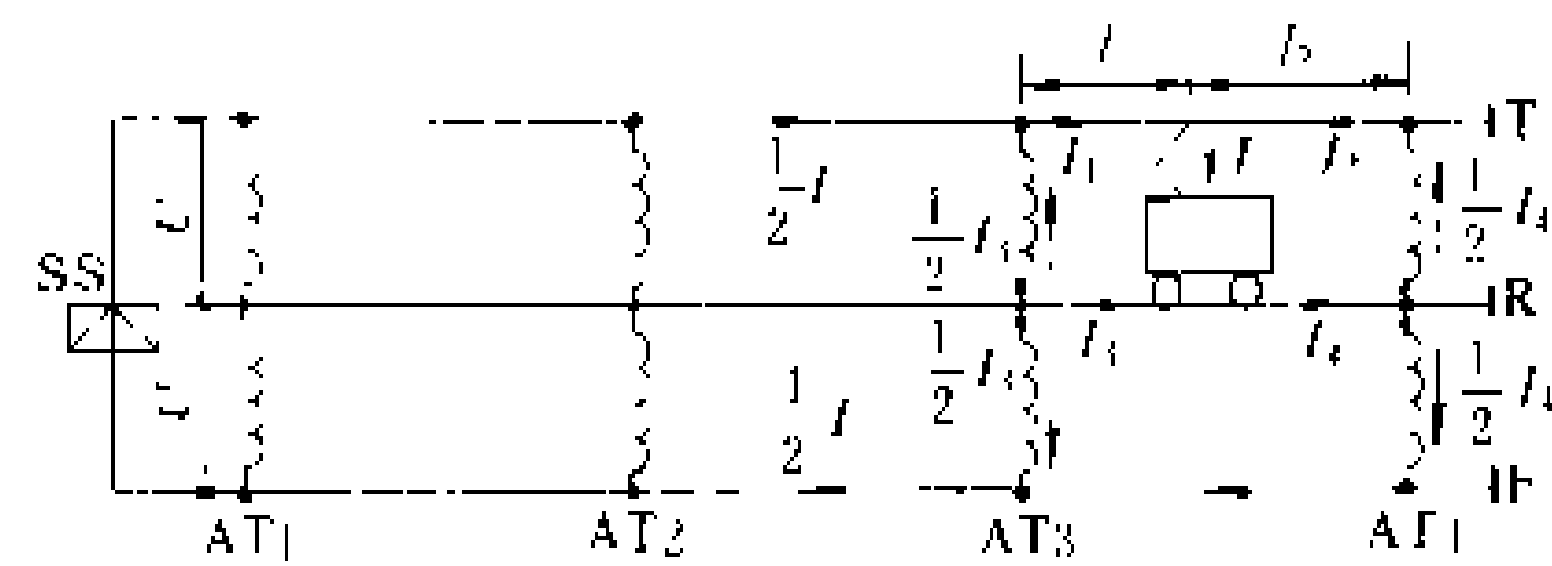
dianli qianyin AT gongdian fangshi
电力牵引 AT 供电方式 (auto transformer supply system of electric traction) 电力牵引的一种供电方式,又称自耦变压器供电方式。单相工频交流电气化铁路为提高供电质量和减少对通信的干扰而采用的一种设有自耦变压器的供电方式。

AT 供电方式的专用设备主要有与接触网平行架设的正馈线及每隔一定距离设置的低阻抗自耦变压器。正馈线为牵引负荷返回变电所的通路,其允许载流量应与接触网的允许载流量等价。自耦变压器的一、二次绕组匝数比采用 2:1, 一端接接触网,另一端接正馈线,中点接钢轨或扼流变压器的中性点[自动闭塞区段(见铁路信号)]。接触网及正馈线的对地电压相等,接触网与正馈线之间的电压为其本身对地电压的 2 倍。实际电路及牵引负荷分配见图。图中 SS 为牵引变电所,T 为接触网,R 为钢轨,F 为正馈线,AT1~AT4 为自耦变压器,U 为接触网及正馈线的对地电压,I 为机车中的电流。其他部分的电流为

$$I_3 = \frac{I_2}{I_1 + I_2} I, \quad I_4 = \frac{I_1}{I_1 + I_2} I$$
$$I_1 = \frac{1}{2} (I_3 + I), \quad I_2 = \frac{1}{2} I_4$$

AT 供电方式的特点如下:

- (1) 电力牵引变电所送电电压较电力机车工作电压高 1 倍,牵引网中的电流只有电力机车电流的 $\frac{1}{2}$, 使牵引网的能耗和电压损失降低,供电质量改善。
- (2) AT1~AT3 段接触网中电流与正馈线电流大小相等,方向相反,对通信线路的干扰互相抵消;AT3~AT4 段接触网中电流 I_1 、 I_2 数值与机车位置有关,但方向相反。因而,AT 供电方式能大大减少牵引负荷对通信线路的干扰。
- (3) 绝大部分牵引电流经正馈线返回牵引变电所,钢轨对地的泄漏电流极少,钢轨对地电位降低,有利于保证维修人员的安全。



AT 供电方式

- (4) 由于有正馈线及自耦变压器,使得牵引网变得复杂,对隧道净空要求较高。
- AT 供电方式是 1911 年由美国工程师 W. 阿瑟首先提出来的,1913 年在纽黑文铁路上安装试用,牵引网电压采用的是 25 Hz、2×11 kV。由于它技术复杂,许多电气计算问题当时未能解决,因而没有得到进一步的发展。近 20 年来,电子计算机和电子技术的应用,为解决 AT 供电方式电气计算和对沿线自耦变压器运行状态进行监测提供了有效手段,因而这种供电方式重新得到重视和推广。目前日本、法国、苏联、中国都建成了 AT 供电方式的电气化铁路。实践证明,AT 供电方式具有良好的供电性能和防干扰效果,特别适用于重载或高速、大密度的电气化干线。

(吴天汉)

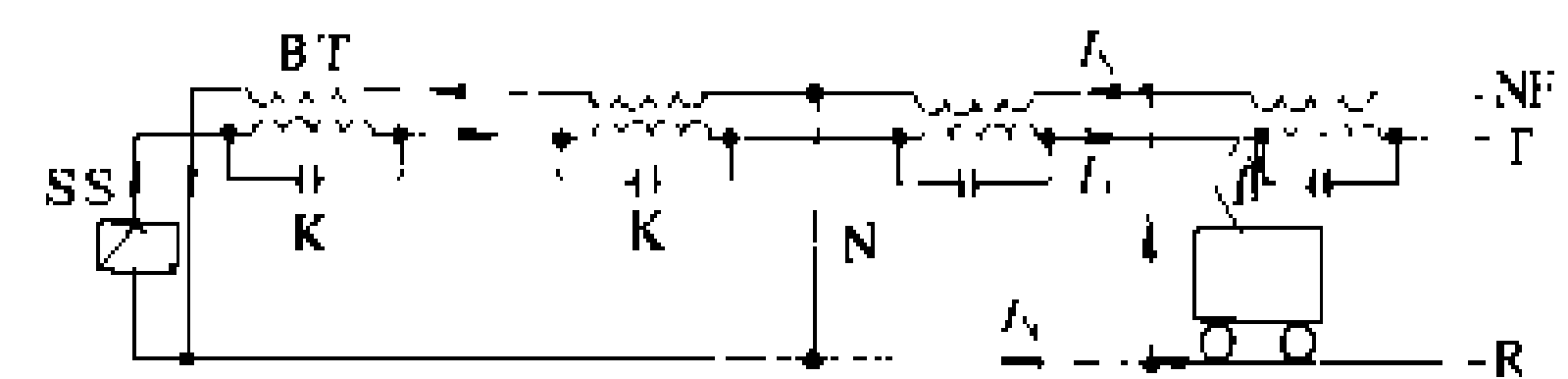
dianli qianyin BT gongdian fangshi
电力牵引 BT 供电方式 (Booster transformer supply system of electric traction) 电力牵引的一种供电方式。BT 供电方式是为改善单相工频交流电气化铁路牵引负荷对通信线路的干扰,而采用的一种带有吸流变压器的供电方式,有吸流变压器一回流线及吸流变压器—钢轨两种结构型式。



BT 供电方式是改善单相工频交流牵引负荷对通信线路干扰的有效手段,已在许多国家采用。但由于其结构复杂,供电性能差,随着电气化铁路向重载、高速、大密度运营模式发展,这种供电方式的使用范围受到限制。

吸流变压器-回流线供电方式 这种供电方式的专用设备有沿铁路设置的吸流变压器、回流线及吸上线等(见图)。吸流变压器的一、二次绕组匝数比为1:1,其一次绕组串入接触网,二次绕组串入回流线,一般每隔3~4 km 设置一台。两台吸流变压器之间设吸上线,一端接钢轨或扼流变压器的中性点,另一端接回流线。由电力牵引变电所送出的牵引电流,经吸流变压器一次绕组、接触网送到电力机车,然后由钢轨、吸上线、回流线、吸流变压器二次绕组返回变电所。由于吸流变压器是按低励磁电流设计的,而且一、二次绕组匝数比为1:1,所以回流线电流 I_N 与接触网电流 I_T 接近相等。这种供电方式的特点有:

(1)对通信干扰有良好的防护效果。因接触网、回流线与通信线路的相对位置接近,两者电流大小近似相等,方向相反,在通信线路上产生的感应电压大部分抵消。



吸流变压器-回流线供电方式

SS—牵引变电站; BT 吸流变压器; T —接触网; NF—回流线; R—钢轨; N—吸上线; I —机车中通过的电流; K—空气间隙

- (2)钢轨泄漏电流小,对地电位小,利于安全。
- (3)接触网中串入吸流变压器,牵引网阻抗加大,电压损失和能耗增加,供电质量降低。
- (4)在吸流变压器处,接触网设有空气间隙。当电力机车通过时,受电弓先将其短接,电力机车通过后又断开时容易产生电弧烧伤接触线,使接触网工作条件恶化。

吸流变压器-钢轨供电方式 利用钢轨作回流通路的吸流变压器供电方式。此时吸流变压器的一次绕组串入接触网,二次绕组串入钢轨。在吸流变压器处接触网设空气间隙,钢轨设绝缘轨缝。这种供电方式造价较小,钢轨电位较低,对通信干扰也有一定的防护效果;但供电质量差,接触网工作条件恶化,而且列车通过时,将吸流变压器短接,降低了对通信干扰的防护效果。

(吴天汉)

dianli qianyin biandiansuo

电力牵引变电所 (substation of electric traction) 向电气化铁路提供电能和分配电力的设施,简称牵引变电所。其功能是将电力系统的三相交流电经降压、整流或变频后供电力牵引使用。

根据电气化铁路采用的电流制,牵引变电所可分为直流、低频交流及工频交流三种类型。直流牵引变电所具有降压和整流两种功能,主要设备有降压变压器及整流装置,用于直流制电气化铁路、矿山铁路、城市铁路及地下铁道。低频交流牵引变电所具有降压和变频两种功能,主要设备有降压变压器及变频设备。电力系统的三相工频交流电,经降压并将工频转换成25 Hz 或 $16\frac{2}{3}$ Hz,供具有单相整流子牵引电机的机车

使用。这种牵引变电所在西欧一些国家(联邦德国、瑞士、瑞典等)得到采用。工频交流牵引变电所的主要功能是降压,主要设备是降压变压器,常称主变压器。按照主变压器接线方式的不同,工频交流牵引变电所分为单相牵引变电所、三相牵引变电所及三相-二相牵引变电所。

单相牵引变电所 主变压器采用特殊设计的全绝缘单相变压器,每个变电所一般设2台。按照2台主变压器接入电力系统的方式不同,又可分为单相接线牵引变电所和V 接线牵引变电所。

单相接线牵引变电所 如图1所示,主变压器一次绕组接入系统的两相,二次绕组一端接接触网,另一端接钢轨。由于2台主变压器接法完全相同,所以这种牵引变电所又称为全并联接线牵引变电所。单相接线牵引变电所的主要特点:结构简单,维修方便;主变压器容量利用充分;但负序电流较大,不平衡系数 $k = \frac{I_{A2}}{I_{A1}} = 1$,不能提供三相电源。这种变电所适用于能提供可靠三相电源的地区。

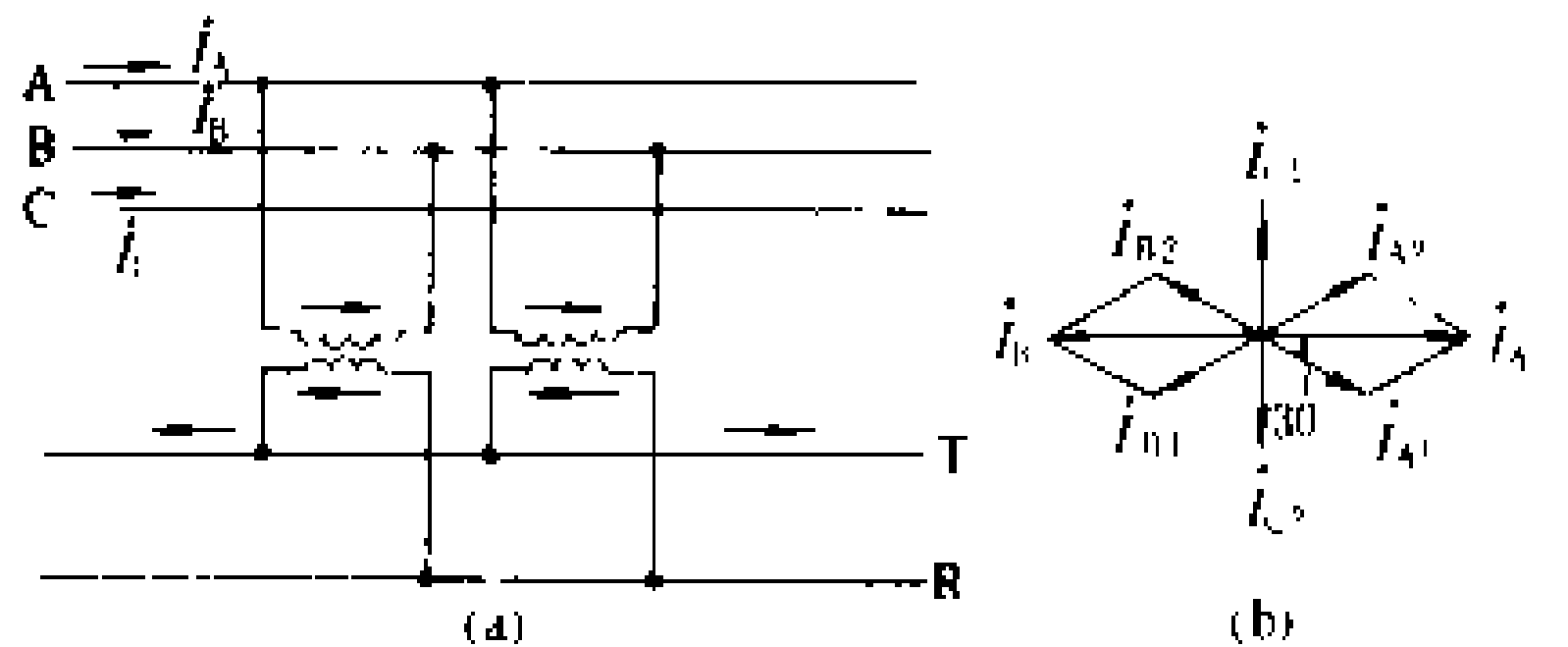


图1 单相接线牵引变电所

(a) 主变压器接线图; (b) 电流相量图

T—接触网; R—钢轨; I_A 、 I_B —A、B相电流; I_{A1} 、 I_{B1} 、 I_{C1} —A、B、C相正序电流; I_{A2} 、 I_{B2} 、 I_{C2} —A、B、C相负序电流

V 接线牵引变电所 如图2所示,2台主变压器



的一、二次绕组均联成V形。一次侧接入系统的三相；二次侧两端分别接入不同的接触网分段，公共端接钢轨。V接线牵引变电所的主要特点：负序电流影响较小，不平衡系数 $k=0.5$ ；主变压器容量利用比较充分；能提供三相电源供变电所自用，但一台主变压器停电时，三相负荷即告中断，因而工作可靠性差；而且此时一台主变压器实行跨相供电，需要进行倒闸作业，操作比较麻烦。

三相牵引变电所 如图3所示，主变压器采用三相变压器，接线方式为Y，d11。每个变电所设2台。其一次绕组接入电力系统的三相，二次绕组两个端子分别接不同分段的接触网，另一端子接钢轨。三相牵引变电所的主要特点：主变压器为普通三相电力变压器，能提供可靠的三相电源供变电所自用；负序电流影响较小，不平衡系数 $k=0.5$ ；但三相绕组电流分配不均，容量利用不够充分。

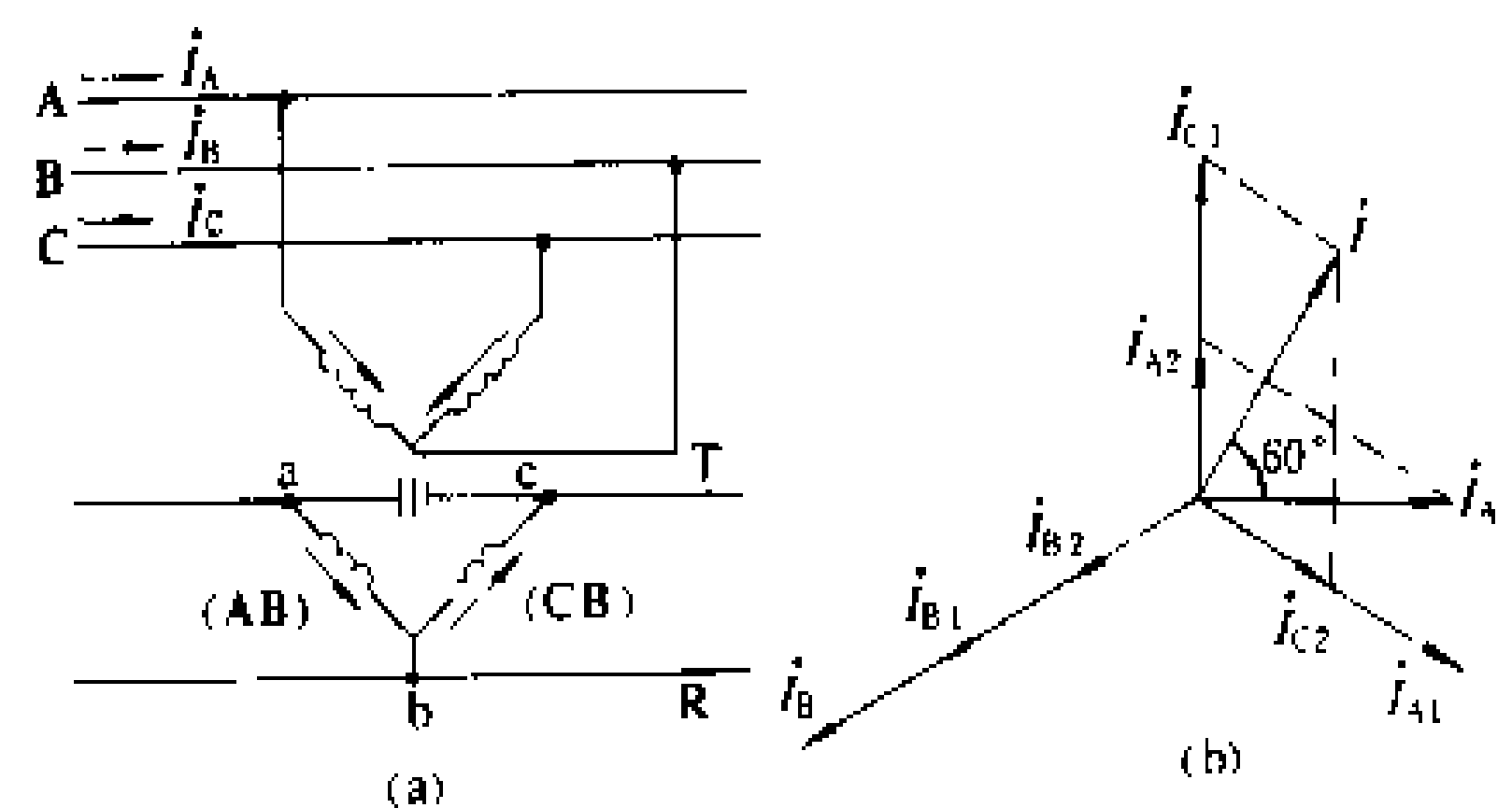


图2 V接线牵引变电所
(a) 主变压器接线图；(b) 电流相量图

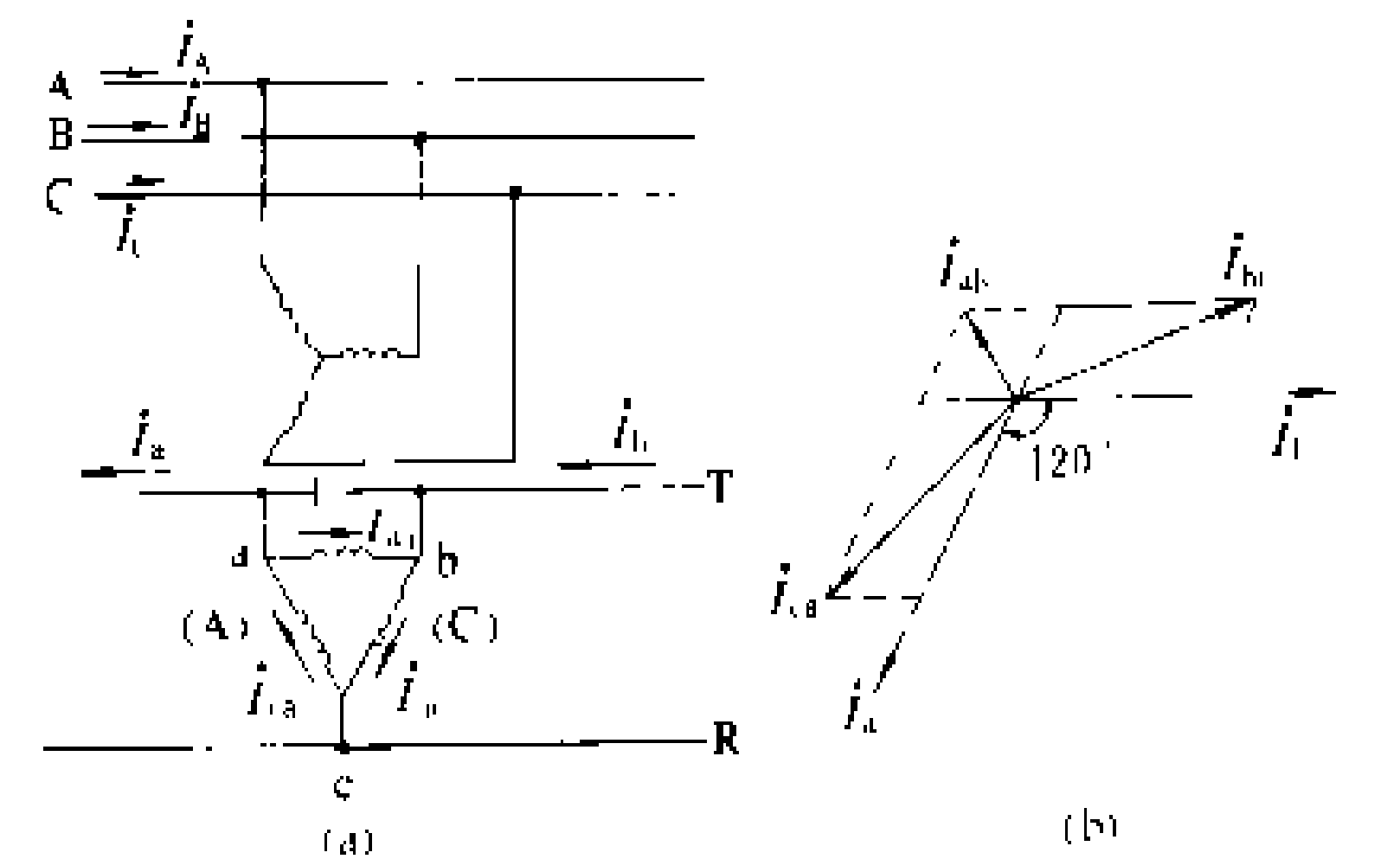


图3 三相牵引变电所
(a) 主变压器接线图；(b) 电流相量图 ($I_a=I_b$ 时)

三相-二相牵引变电所 主变压器能实现一次侧三相、二次侧两相负荷对称变换的牵引变电所。能实现这种变换的变压器接线方式很多，主要有斯科特（Scott）接线及伍德桥（或译伍德布里奇）（Wood Bridge）接线。

斯科特接线变电所 如图4所示，变压器一次绕组接成T形，接入系统的三相；二次绕组为两个单相绕组，分别向不同的接触网分段供电。一次绕组匝数

AC为 W_1 、BO为 $\sqrt{3}W_1/2$ ；二次绕组匝数均为 W_2 。当馈电臂电流 $I_a=I_b=I$ 时，则 $I_A=I_B=I_C=\frac{2}{\sqrt{3}}\frac{W_2}{W_1}I$ ，方向见图4(c)。可见，此时一次侧三相负荷实现了平衡。

伍德桥接线变电所 经过改进的变形伍德桥接线如图5所示。变压器一次绕组有 midpoint 抽出。为了使B的输出电压和A的相同，专门设置了一台单相自耦变压器。牵引变电所采用这种变压器时，如二次侧两馈电臂电流相等，则一次侧三相负荷平衡。但这种接线比较复杂，适用于牵引负荷容量大，电力系统电压等级高的电

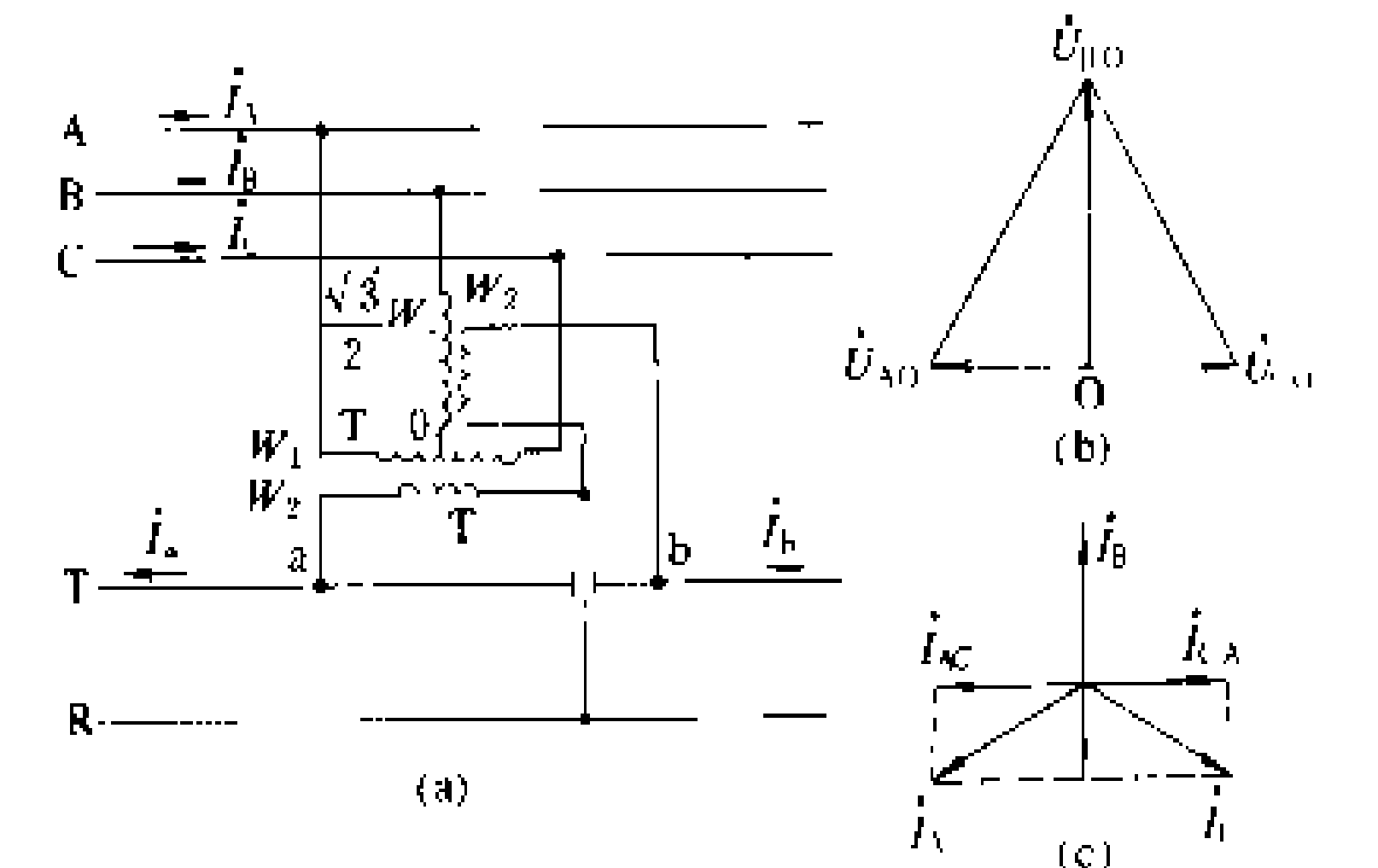


图4 斯科特接线
(a) 主变压器接线图；(b) 电压相量图；(c) 电流相量图

气化区段。三相-二相牵引变电所的显著特点是能改善牵引负荷电流的影响。在AT供电区段（见电力牵引AT供电方式），由于负荷大，馈电臂长，负荷电流影响比较突出，因而，这种变电所得到广泛采用。

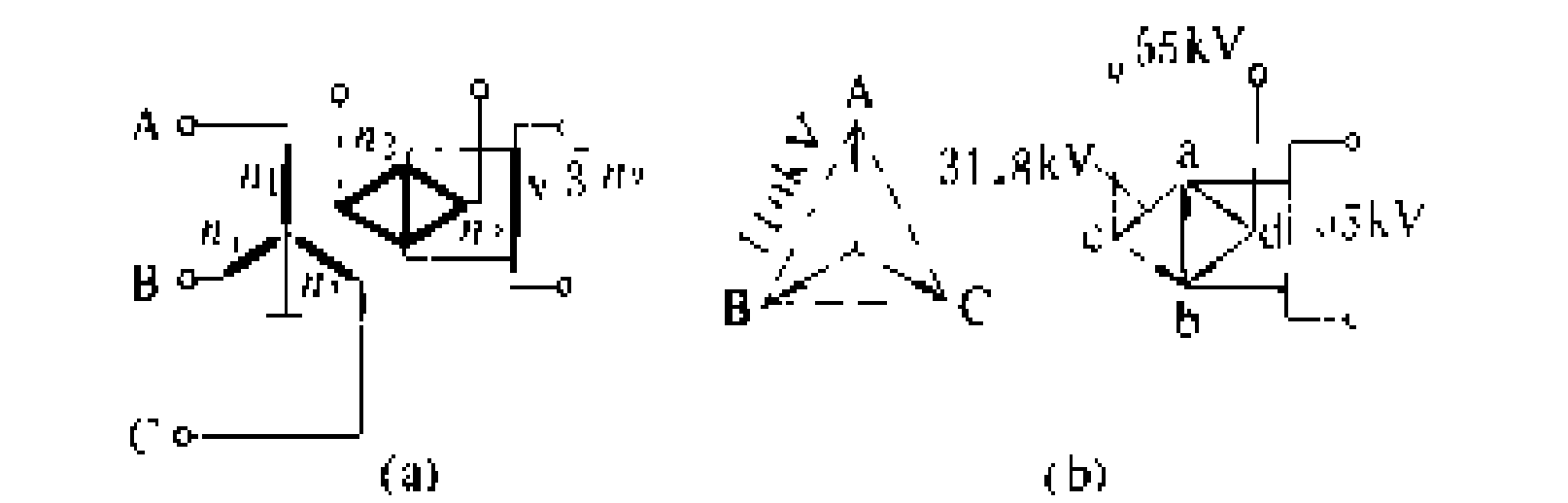


图5 伍德桥接线变电所
(a) 主变压器接线图；(b) 电压相量图

参考书目

贺威俊，简克良主编，电气化铁道供变电工程，北京：中国铁道出版社，1982

（吴天汉）

dianli dalinyin CC gongdian fangshi
电力牵引CC供电方式（coaxial cable supply system of electric traction） 电力牵引的一种供电方式，又称同轴电缆供电方式。同轴电缆是一种具有同轴心的内、外两层导体，内、外导体之间和外导体外部均包有绝缘层的特殊电缆（见图1）。同

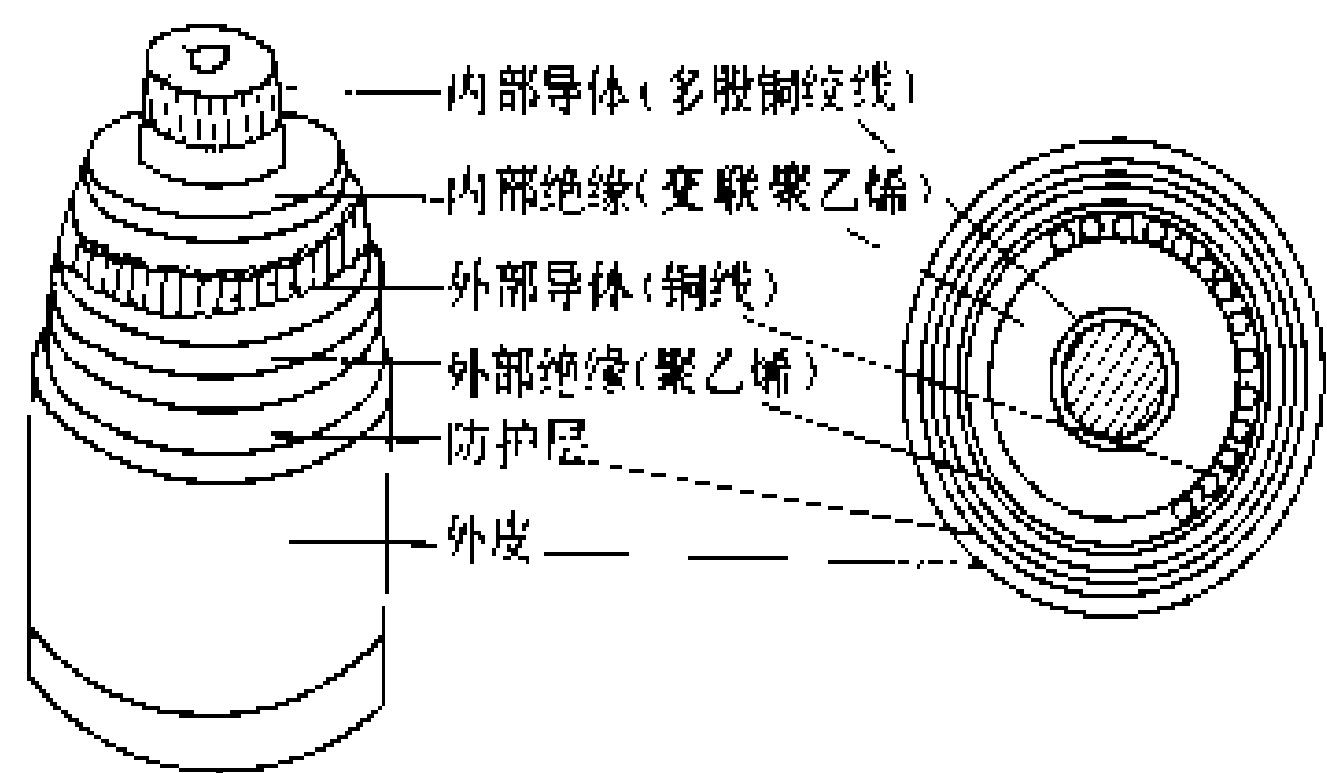


图1 同轴电缆结构示意图

轴电缆沿铁路的钢轨埋设，每隔5~10 km为一个分段，其内导体作为馈电线，与接触导线相连接，其外导体作为回流线与钢轨相连接（见图2），仅在有机车运

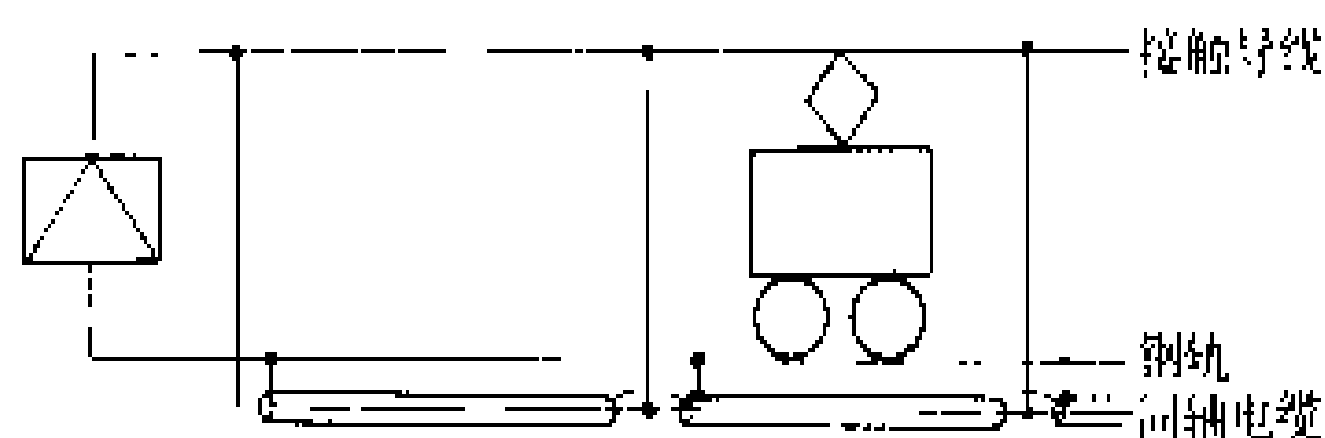


图2 同轴电缆供电系统原理接线图

行的地段，接触网上和钢轨内才有电流通过。这种供电方式把电流方向相反的馈电线和回流线之间的距离缩短到最小限度，并且又是同轴分布，使导体间的互感系数增大，回路阻抗变得很小，加之吸附作用增强，使对外电磁场的影响趋于平衡，因而在改善供电电压质量和减少通信干扰方面的效果均明显优于AT供电方式。日本、苏联、中国都对这种供电方式进行了试验研究。但由于制作同轴电缆的绝缘材料聚乙烯价格太贵，使这种供电方式的投资很高，只适合于在大城市市区架设架空线有困难或架空线对通信干扰严重的特殊地段采用。日本东海道新干线（电气化高速铁路）在浜松町一大崎间（6 km）、东北新干线上野—新田端间（2.4 km）采用了CC供电方式。中国在神头电厂4 km的电气化区段中也采用了这种供电方式。CC供电方式是电力牵引的一种很有发展前景的供电方式。

（吴天汉 黄乃勇）

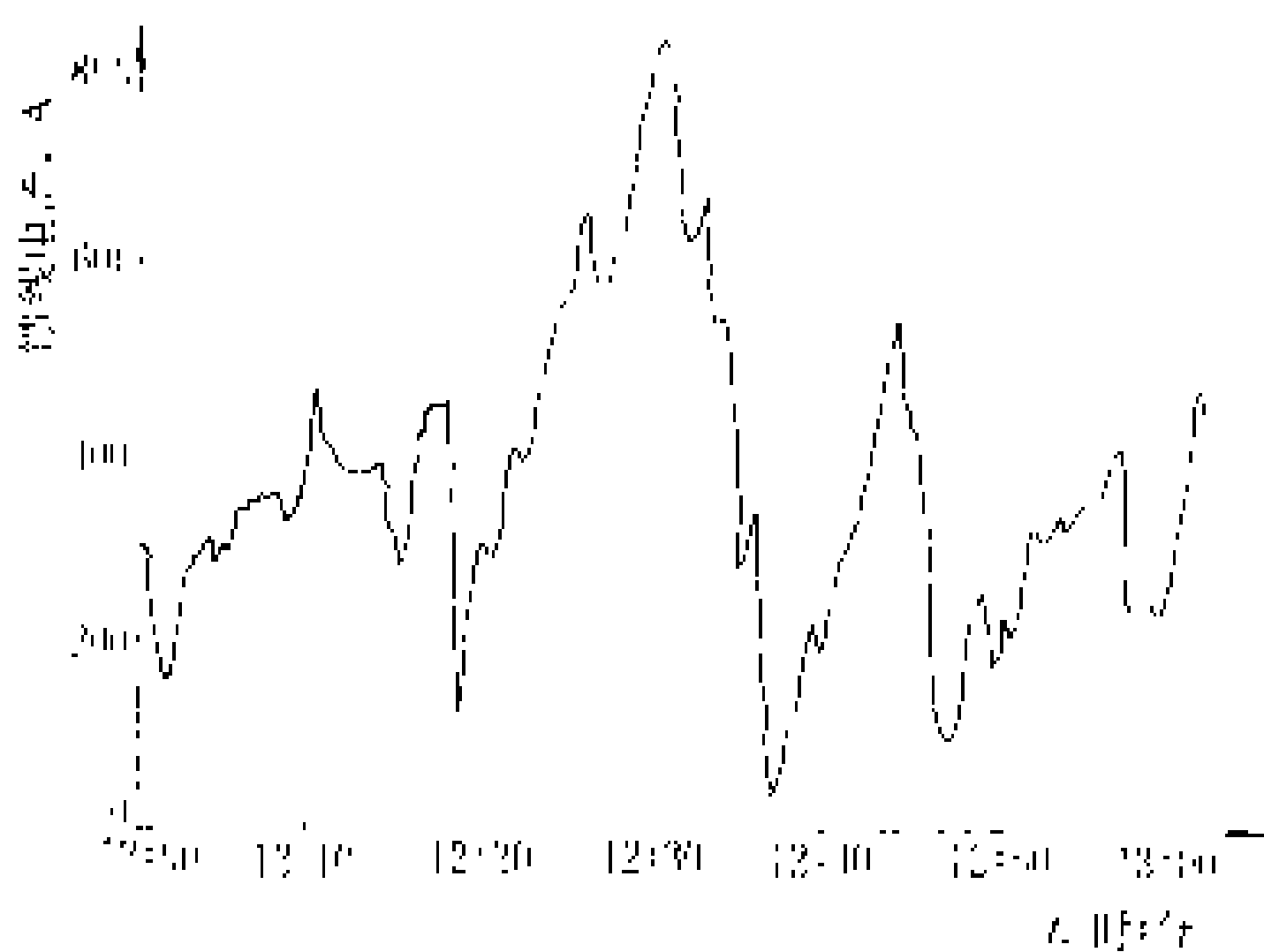
dianli qianyin fuhe tezheng

电力牵引负荷特征 (features of electric traction load)

电力牵引负荷是指电力机车运行时所需要的电功率。电力牵引负荷特征主要有：负荷波动幅度大，并具有随机性；产生负序电流、迷散电流和高次谐波，功率因数低等。

（1）电力牵引用电设备为沿铁路运行的电力机车。由于电力机车的数量、位置、取流大小（与线路坡道及弯道、牵引重量、运行速度、行车密度等有关）是不断变化的，因而负荷具有明显的波动性和间歇性。图中示出了某牵引变电所负荷曲线。

（2）电气化铁路的牵引供电网络以钢轨作为负荷电流的回归导体。直接铺设在地面上的铁路钢轨与大地间没有良好的绝缘，一部分牵引回流自机车车轮接触的钢轨处开始向两侧通过轨—地间的横向过渡电阻逐渐泄入大地，并在电力牵引变电所附近逐渐由地中返回钢轨，使接触网—钢轨回路成为不平衡馈电电路。对于交流电气化铁路，由钢轨泄入地中的电流将对平行接近的通信线路产生危险感应电压；对于直流电气化铁路，由钢轨泄入地中的直流电流（称迷散电流）在地中广大范围内流通，并对地中埋设的金属供水管路、燃气或输油管道、铠装电缆外皮以及其他金属建筑物产生电解作用，造成金属管路穿孔或电蚀。交流电气化铁路的地中电流对地下金属建筑物的电蚀作用很小。（见电力牵引迷散电流）



某牵引变电所负荷曲线

（3）交流电气化铁路一般均采用整流式电力机车。整流过程中产生的各奇数高次谐波电流可使交流侧的电流、电压波形发生较大畸变。波形畸变对邻近平行接近的音频通信线路将产生杂音干扰影响，而对电力系统发电设备和其他电力用电设备将带来附加损耗。（见电力牵引高次谐波）

（4）由于交流电力机车为单相负荷，这使牵引变电所电源侧的三相电流出现不平衡，从而对三相对称的公用电力系统产生有害的负序电流影响。（见交流电气化铁路负序电流）

（5）在有长大坡道的电气化铁路上，有时为了节约电力也采用再生制动电力机车。在单相工频制电气化铁路上采用再生制动电力机车，将使电力牵引变电所的平均功率因数恶化，使电气化铁路对电力系统产生的负序电流影响增大。

（缪耀珊）

dianli qianyin gaoci xiebo

电力牵引高次谐波 (harmonics of electric traction)

整流式交流电力机车在整流过程中



将引起交流侧电流、电压波形畸变,按傅立叶级数分析该畸变波形可分解成频率为基波频率整数倍的一系列高次谐波分量的叠加。

高次谐波电流、电压可引起下列不良影响:

- (1) 对通信线产生杂音干扰影响;
- (2) 引起电力系统中其他电力电容器设备的过负荷;
- (3) 当电气化铁路负荷某次谐波电流频率与电力系统自身谐振频率相近时,可产生电流谐振,使该次谐波电流在电力系统中放大,危及系统安全运行;
- (4) 使旋转电机、变压器、电力电缆的出力减少并产生过热,影响电气设备寿命;
- (5) 造成继电保护误动或仪表读数误差;
- (6) 使半导体开关元件换相失灵。

为限制谐波的危害,各国都规定了允许谐波含量

的标准。

(1) 中国在《电力系统谐波管理暂行规定》中规定了电力系统中任何一点的谐波电压畸变值(见表1)和任一用户接入电力系统的谐波电流允许值(见表2)。

(2) 英国电气厅标准(G 5/3, 1976)规定的谐波电压允许值见表3,高次谐波电流允许值见表4。

表1 谐波电压畸变值

用户所接供电系统电压(kV)	总谐波电压畸变极限值(%)	各波谐波电压畸变极限值(%)	
		奇次	偶次
0.38	5	4	2
6~10	4	3	1.75
35~63	3	2	1
110	1.5	1	0.5

表2 谐波电流允许值

系统电压(kV)	各次谐波电流允许值(A,有效值)																	
	2次	3次	4次	5次	6次	7次	8次	9次	10次	11次	12次	13次	14次	15次	16次	17次	18次	19次
0.38	52	36	25	57	12	41	9	7	7	19	6	16	5	5	6	6	4	7
6~10	13	8	6	10	4	8	3	3	3	7	2	6	2	2	1	2	1	2
35~63	5.5	2.5	2.7	4.3	2	3	1.5	1.2	1	3	1	2.5	1.5	0.7	0.6	1.2	0.6	0.5
110	5	4	3	4	2	2.5	1.5	1.0	0.8	3.5	0.8	2	1.4	1.3	1.2	1	1	1

表3 谐波电压允许值

系统电压(kV)	各次谐波电压含有率	电压综合畸变率
154 以上	0.5% 以下	1.0% 以下
66 以下	1.0% 以下	2.0% 以下

表4 高次谐波电流允许值

系统电压(kV)	高次谐波电流允许值(A)			
	5次	7次	11次	13次
0.415	65	42	63	53
6.6~11	9.7	6.3	10	8.5
33	9.6	6.3	7	6
66	4.8	3.2	3.5	3.0
132	3.0	2.5	3.3	2.8

允许值为1.5%。

(5) 联邦德国标准(VDEW 1976)规定为3%~5%。

为降低电力牵引负荷产生的谐波,在电力牵引变电所和电力机车中装设了由电容、电感组成的谐波吸收装置。正在发展中的交流-直流-交流电力机车利用电力电子技术,可实现低谐波分量的负荷特性,使谐波影响降到最低。

(缪耀珊)

dianli qianyin gonglu yinshu

电力牵引功率因数 (power factor of traction load)

交流电气化铁路电力机车在接近满负荷条件下的功率因数约在0.82~0.85之间。在轻负荷条件下,其功率因数会急剧恶化。此外,在传递牵引功率过程中,牵引网络和变电所主变压器也需消耗相当数量的无功功率,归算到电力牵引变电所高压侧的平均功率因数通常在0.76~0.78之间。

交流负荷功率因数低将引起下列不良影响:

(1) 造成输变电回路中电压损失增加,电压损失通常可按下式计算

$$\Delta U = I(R\cos\varphi + X\sin\varphi)$$

式中I为负荷电流;R为输变电回路阻抗的电阻分量;X为输变电回路阻抗的电抗分量; φ 为负荷的功率因数角。

在高压输电网络中,回路阻抗的电阻分量较之电抗分量小,故常可忽略,使得回路电压损失近似与电抗分量和负荷功率因数角的正弦值的乘积成比例。当负荷功率因数变差时,电压损失将显著增加。

(2) 造成发电、输电、变电和供电各个环节设备容量的增加,在输送同一有功功率时,总视在功率随负荷功率因数下降而增加。

(3) 加大了各供电环节在输变电过程中的损耗。



(4) 造成电力系统其他用户电气设备的过载、出力不足和额外损耗。

对用户功率因数的规定 为保证电力系统安全、有效地运行，各国电力系统都对负荷功率因数规定了标准和奖惩办法。

中国 1983 年 8 月颁发的《全国供用电规则》对各类用户的负荷功率因数都作出了明确的要求。其中第 26 条规定：“无功电力应就地平衡，用户应在提高用电自然功率因数的基础上，设计和装置无功补偿设备，并做到随负荷和电压变动及时投入或切除，防止无功电力倒送。用户在当地供电企业规定的电网高峰负荷时的功率因数应达到下列规定：

高压供电的工业用户和高压供电装有带负荷调整电压装置的电力用户，功率因数为 0.9 以上；

其他 100 (kV·A 或 kW) 及以上电力用户和大、中型电力排灌站，功率因数为 0.85 以上；

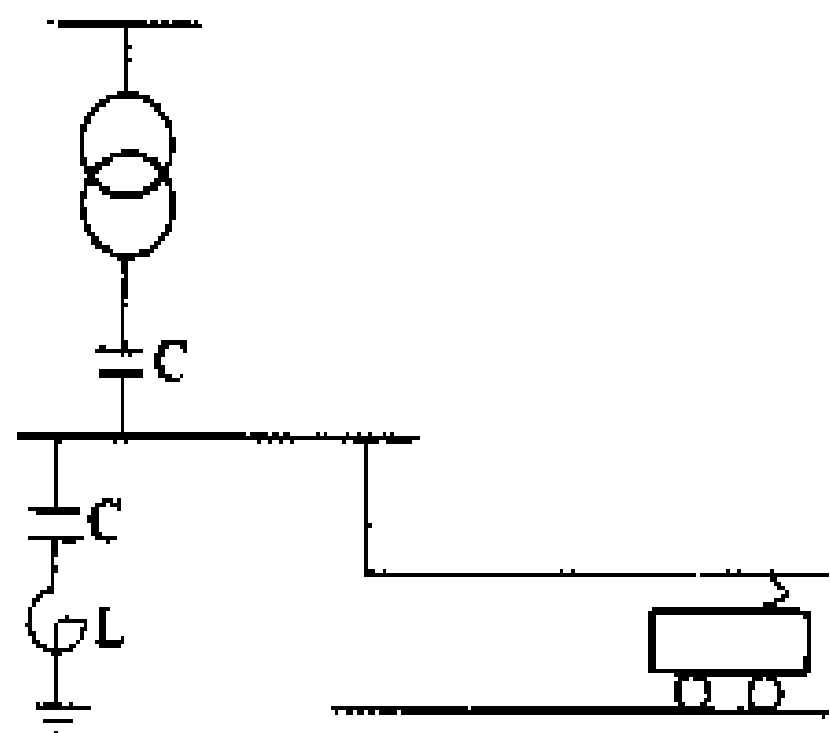
趸售和农业用电，功率因数为 0.8；

功率因数调整电费按国家标准《电、热价格》的规定执行”。

电力牵引负荷的无功补偿方法 一般电力牵引负荷的无功补偿与牵引电流的谐波补偿结合进行。

(1) 在电力机车上加装 L—C 谐波和无功综合补偿装置。这种方式的优点是，直接在用电端进行补偿，补偿效果好，可以从根本上消除谐波电流对通信线路的杂音干扰影响，而且在输变电回路中的电压水平较好，电力损耗较小，需要的供电设备容量较小；缺点是，分散补偿，补偿装置的容量利用率较差。

(2) 在变电所牵引母线上加装 L—C 谐波和无功综合补偿装置。这种方式在牵引网中仍有谐波电流流通，牵引网电压水平较差，对邻近架空通信线路的杂音干扰较大；但由于实行相对集中补偿，装置的利用率和安装费用较低。



(3) 在变电所加装串并联电容和 L—C 谐波和无功综合补偿装置 (见图 1)。

设置串联电容器的目的是在重负荷条件下，增加无功出力。此外，还兼有改善回路电压水平的功能。电气化铁路牵引负荷波动性很大，如果按重负荷条件选择并联电容器的补偿容量，则在轻负荷时将产生大量多余无功功率，并向电力系统返送。而串联电容器的无功出力恰恰具有随负荷大小自动调整无功输出的能

力。

无功补偿装置计算 综合补偿装置各项参数的计算式汇总列于表。

综合补偿装置的需要容量 Q_c 还可按下式计算

$$Q_c = P \left[\left(\sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_1} - 1} - \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_2} - 1} \right) K \right]$$

式中 $\cos \varphi_1$ 为补偿前的功率因数； $\cos \varphi_2$ 为补偿后的功

并联电容补偿装置各项参数的计算

补偿装置	参数名称	计 算 式	计 算 图
电 容 器	端子电压 U_c	$U_c = \frac{1}{1-a} U$	<p>U — 母线电压； Q_c — 装置输出无功； $a = \frac{X_L}{X_C}$</p>
	无功容量 Q_{cc}	$Q_{cc} = \frac{1}{1-a} Q_c$	
	容抗 X_c	$X_c = \frac{1}{1-a} \times \frac{U^2}{Q_c}$	
电 抗 器	端子电压 U_L	$U_L = \frac{a}{1-a} U$	
	容量 Q_L	$Q_L = \frac{a}{1-a} Q_c$	
	电抗 X_L	$X_L = \frac{a}{1-a} \times \frac{U^2}{Q_c}$	
综合补偿装置	无功容量 Q_c	$Q_c = Q_{cc} - Q_L$	
	电抗 Z_c	$Z_c = X_c - X_L$	
	电流 I_c	$I_c = Q_c / U$	

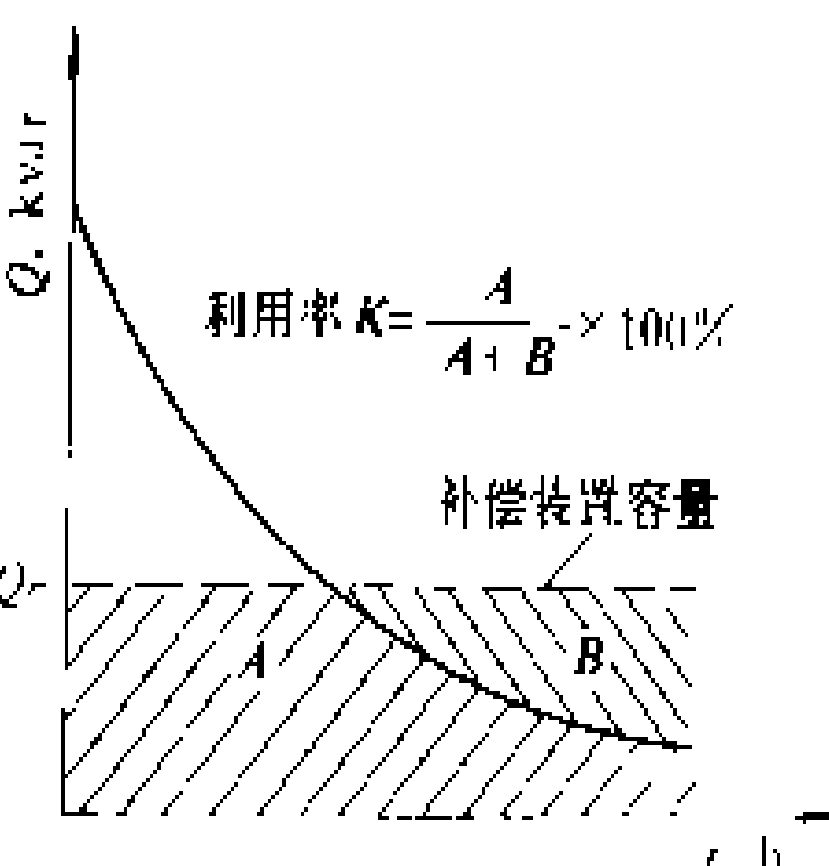


图 2 负荷的无功功率—时间曲线

率因数； P 为牵引负荷的平均有功功率，kV·A； K 为补偿装置的利用率。

补偿装置利用率可根据用户的无功功率负荷曲线确定 (图 2)。

参考书目

山口钦一，電気鉄道要覧，日本鉄道電化協会，1972

(陆 淳)

dianli qianyin gongdian fangshi

电力牵引供电方式 (power supply system of electric traction) 按电力牵引供电系统的设备和接线的不同，主要有直接供电方式，BT 供电方式，AT 供电方式及 CC 供电方式。交流电气化铁路最初与直流电气化铁路一样，也仅采用具有简单回路的直接供电方式，以后为了减少对沿线的通信干扰和开行高

速旅客列车、载重货物列车的需要,以及电工技术、电力电子技术的发展,交流电气化铁路的供电方式趋于多样化,除有了带回流线的直接供电方式外,20世纪60年代以来,还开发和完善了BT(Booster transformer)、AT(Auto-transformer)、CC(Coaxial cable)等供电方式。

直接供电方式结构简单、造价低、施工及维修方便,但在单相工频交流电气化铁路上,存在牵引负荷对通信的严重干扰,而且钢轨电位高,安全性较差。它主要用于直流电气化铁路及通信干扰问题不突出地区的交流电气化铁路。(见电力牵引直接供电方式)

BT供电方式对通信干扰有良好的防护效果,钢轨电位较低;但供电质量差,结构复杂,当行车速度高,牵引负荷大时容易烧毁接触网。它主要用于通信干扰严重地区的单相工频交流电气化铁路。(见电力牵引BT供电方式)

AT供电方式能大大减少对通信线路的干扰,供电容量大、质量高,钢轨电位低;但牵引网结构复杂,对桥隧建筑物的净空要求高。在列车密度大、速度高或牵引重载列车的电气化区段,采用AT供电方式效果更佳。(见电力牵引AT供电方式)

CC供电方式,具有结构简单、净空要求低、对通信不会造成干扰等特点,但价格昂贵,只适合在一些特殊地段采用。(见电力牵引CC供电方式)

(吴天汉)

dianli qianyin gongdian jisuan

电力牵引供电计算 (electric calculations for electric traction) 为确定电气化铁路牵引供电系统一系列重要技术参数而进行的一整套计算工作,包括牵引供电设备需要容量计算、牵引供电网络阻抗计算、电压损失计算以及无功和谐波含量计算等。

牵引供电设备需要容量计算 由于牵引供电设备的负荷具有急剧变化的特点,使正确选定所需要的容量成为一项相当复杂的工作。它不仅关系到电气化铁路技术经济指标的好坏,还直接影响到电气化铁路的安全、可靠运行。

常用的计算方法有平均行车量法、概率统计法和运行图法等。不同的方法对电气化铁路运行方式作出了不同的简化假设,因而它们的计算工作量和准确度也不同。

平均行车量法 把电力机车实际沿整个供电臂运行时不断变化的负荷看作是按某一平均电流用电的稳定负荷;把供电臂在不同时间内可能发生的紧密和稀疏运行情况看作某一平均列车数稳定运行的方式;将

运行列车种类和牵引重量看作是同一类型的,从而使各列车的用电特性一致。这是一种忽略电力牵引负荷特点的简易计算方法。这种用平均负荷去代替剧烈波动负荷的作法往往使计算所得容量偏小,只有在供电臂供电范围及线路行车量较大的情况下,才能获得接近实际的结果。

概率统计法 假定线路运行列车种类和重量完全相同,考虑供电臂在不同时间可能发生的紧密运行情况,并按概率统计方法的最大数学期望值确定供电设备的需要容量。这种方法在很大程度上考虑了牵引负荷的特点,计算结果比较准确。

按概率统计法确定的变电所供电臂平均均方根电流可由下式计算

$$I_0 = \sqrt{\frac{Nn}{N_0} I_a^2 + \frac{N^2 n(n-1)}{N_0^2} I_c^2} \quad (1)$$

$$n = \frac{t}{\theta}$$

式中 I_0 为供电臂平均均方根电流, A; N 为线路计算行车量, 对/天; N_0 为线路计算通过能力, 对/天; n 为供电臂内平均行车量; I_a 为供电臂内列车负荷电流均方根值, A; I_c 为供电臂内列车负荷电流平均值, A; t 为列车通过供电臂所需时间, min; θ 为列车追踪间隔时间, min。

运行图法 以列车商务运行图为基础,根据电力牵引计算资料按一定时间间隔(例如1min)求出各时间断面的供电臂瞬时负荷并绘成负荷曲线,再根据负荷曲线求出均方根电流平均值或计算负荷电流值。

运行图法是最直观、最准确的计算方法。过去由于计算工作量太大,其应用受到限制,电子计算机的应用为运行图法开辟了广阔应用前景。

牵引网阻抗计算 工频单相牵引网络阻抗计算可分成27.5kV直接供电(有吸流-回流装置者也可归入这一类)牵引网阻抗计算和2×27.5kV自耦变压器供电牵引网阻抗计算两大类。

27.5kV直接供电牵引网阻抗计算 按下列几种情况分别计算。

(1) 牵引网单位阻抗按下式计算

$$Z_0 = Z_T - \frac{Z_{TR}^2}{Z_R} + \frac{(Z_R - Z_{TR})^2}{Z_R} \times \frac{\text{th} \frac{kl}{2}}{\frac{kl}{2}} \quad (2)$$

式中 Z_T 为接触悬挂-地回路自阻抗, Ω/km; Z_R 为钢轨-地回路自阻抗, Ω/km; Z_{TR} 为接触悬挂与钢轨间互阻抗, Ω/km; k 为钢轨回路传播常数, km⁻¹; l 为牵引网络长度, km。

(2) 工频50Hz时,单根导线-地回路自阻抗可

由下式计算

$$Z = R + 0.05 - j0.144 \times (1.42 + \lg D \sqrt{\sigma}) \quad (3)$$

式中 R 为导线有效电阻, Ω/km ; D 为导线外径, cm ; σ 为大地导电率, $(\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ 。

(3) 两根导线裂相(承力索和接触线)一地回路自阻抗由下式计算

$$Z_T = \frac{Z_c Z_i - Z_{ci}^2}{Z_c + Z_i - 2Z_{ci}} \quad (4)$$

式中 Z_c 为承力索一地回路自阻抗, Ω/km ; Z_i 为接触线一地回路自阻抗, Ω/km ; Z_{ci} 为承力索与接触线间互阻抗, Ω/km 。

(4) 两个导线一地回路间的互相抗按下式计算

$$Z_M = 0.05 - j0.144 \times (1.53 + \lg a \sqrt{\sigma}) \quad (5)$$

式中 a 为两导线间距离, cm 。

(5) 单根轨条一地回路的自阻抗按下式计算

$$Z'_R = r_{Rk} + 0.05 - j0.144 \times (1.53 - 5.2r_{Rk} + \lg R_R \sqrt{\sigma}) \quad (6)$$

式中 r_{Rk} 为轨条有效电阻, Ω/km ; R_R 为轨条半径, cm 。

(6) 轨条为铁磁物质, 其有效电阻随通过电流的频率和数值不同, 有较大变化。单线铁路有两根轨条, 其钢轨一地回路自阻抗按下式计算

$$Z_R = \frac{r_{Rk}}{2} + 0.05 - j0.144 \times \left(1.53 - 5.2 \times \frac{r_{Rk}}{2} + \lg \sqrt{R_R Q_R} \sqrt{\sigma} \right) \quad (7)$$

式中 Q_R 为轨距, 中国取 1435 cm 。

$2 \times 27.5 \text{ kV}$ 自耦变压器供电(AT 供电网络)牵引网阻抗计算 典型的 AT 供电网络如图 1 所示。与 27.5 kV 直接供电方式不同, AT 供电方式的牵引网阻抗不是一种均布参数, 它与网络长度间没有简单的线性关系。

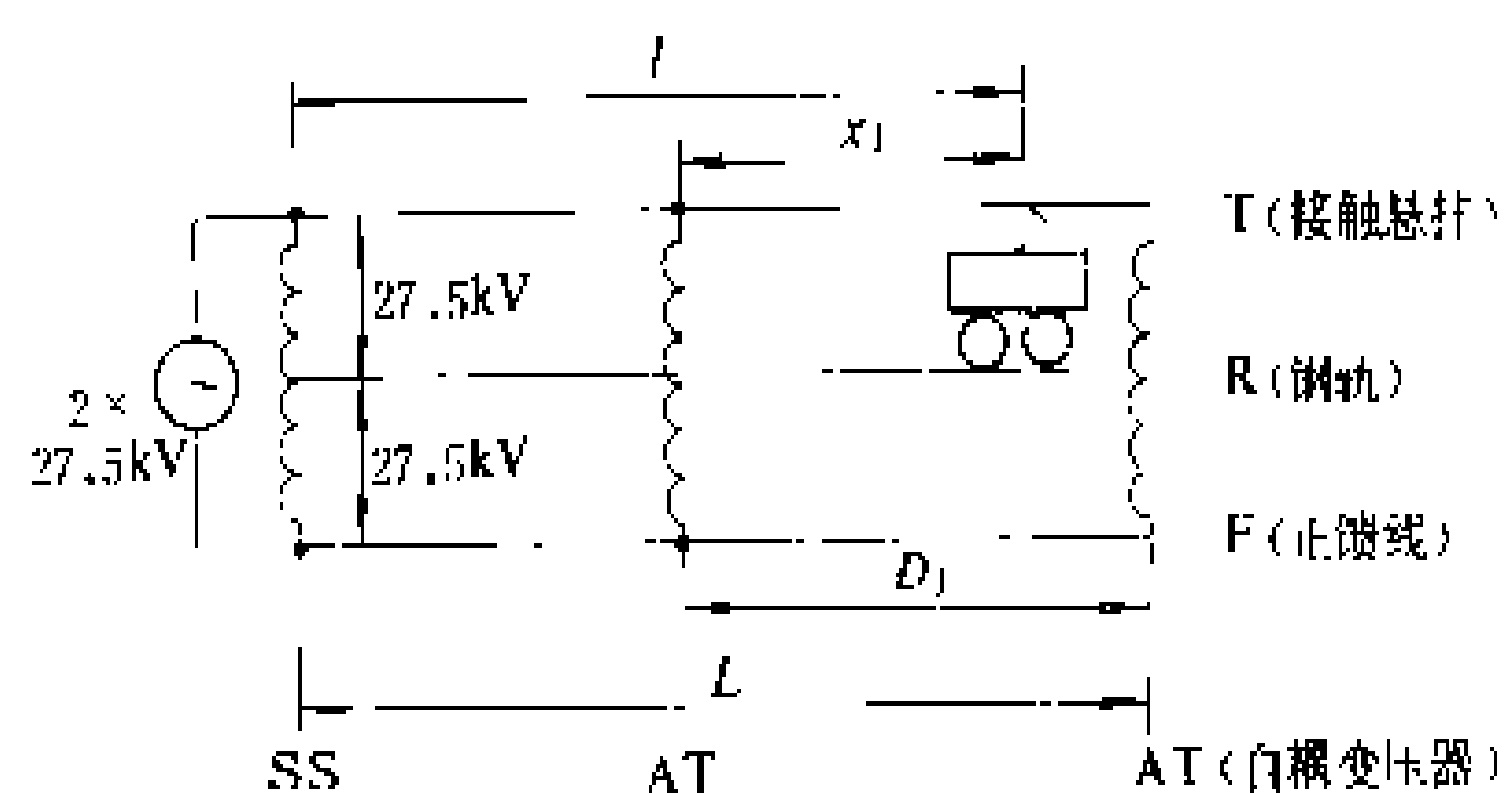


图1 AT供电网络示意图

单线 AT 网络的等值电路如图 2。其阻抗分别为

$$Z_1 = \frac{1}{2} (Z_T + Z_{RF} - Z_{TR} - Z_{TF}) \quad (8)$$

$$Z_2 = Z_R + \frac{1}{2} (Z_T - 3Z_{TR} - Z_{RF} + Z_{TF}) \quad (9)$$

$$Z_3 = \frac{1}{4} (Z_F - Z_T) + 1/2 (Z_{TR} - Z_{RF}) \quad (10)$$

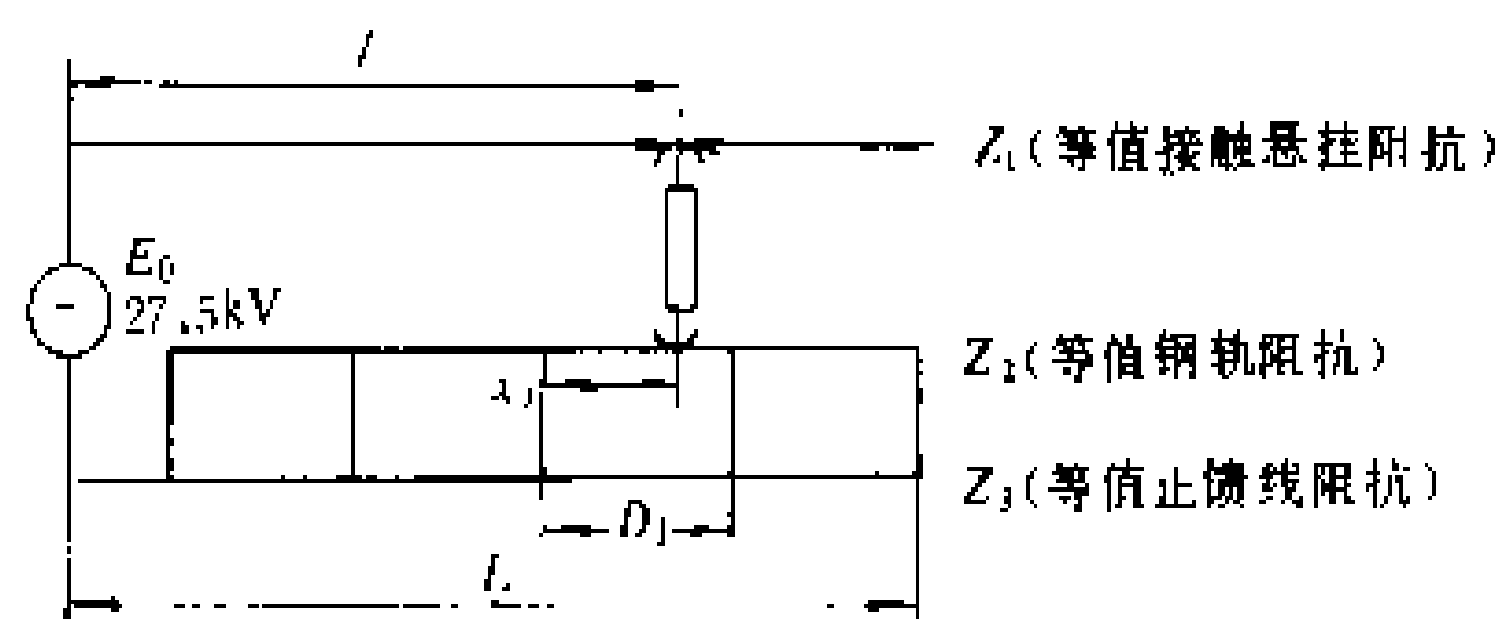


图2 单线 AT 供电网络等值电路图

式中 Z_F 为正馈线一地回路自阻抗, Ω/km ; Z_{RF} 为正馈线与钢轨间互阻抗, Ω/km ; Z_{TF} 为接触悬挂与正馈线间互阻抗, Ω/km ; Z_{TR} 为接触悬挂与钢轨间互阻抗, Ω/km 。

距变电所为 l (km) 处的 T—R 牵引网阻抗为

$$Z_n = Z_L l + Z'_L \left(1 - \frac{x_l}{D_l} \right) x_l \quad (11)$$

$$Z_L = Z_1 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_2 + Z_3}$$

$$Z'_L = \frac{Z_2^2}{Z_2 + Z_3}$$

式中 x_l 为列车在 AT 段中距段首的长度, km ; D_l 为列车所在 AT 段长度, km 。

列车在网络中不

同位置时与网络阻抗

的关系曲线如图 3。

图 3 中 Z_n 为 T—R

牵引网总阻抗; Z 为

T—F 长回路阻抗。

在复线条件下,

如果上、下行 AT 供

电网络通过分区亭并

联供电, 则计算至负载端的网络综合阻抗为

$$Z_n = \frac{2L - l}{2L} l Z_L + Z'_L \left(1 - \frac{x_l}{D_l} \right) x_l \quad (12)$$

式中 L 为供电臂长度, km 。

牵引供电系统电压损失计算 牵引供电系统电压损失由两部分组成, 即牵引变压器电压损失和牵引网电压损失。

牵引变压器电压损失 单相接线、单相 V 接线及三相一二相平衡接线的牵引变电所一相牵引母线中的电压损失只与该牵引母线的负荷有关, 其值为

$$\Delta U_T = I(r_T \cos \varphi + x_T \sin \varphi) \quad (13)$$

式中 r_T 、 x_T 分别为变压器短路阻抗的电阻和电抗, 对于大型变压器, 可忽略 r_T ; φ 为负荷功率因数角。

变压器的短路阻抗为

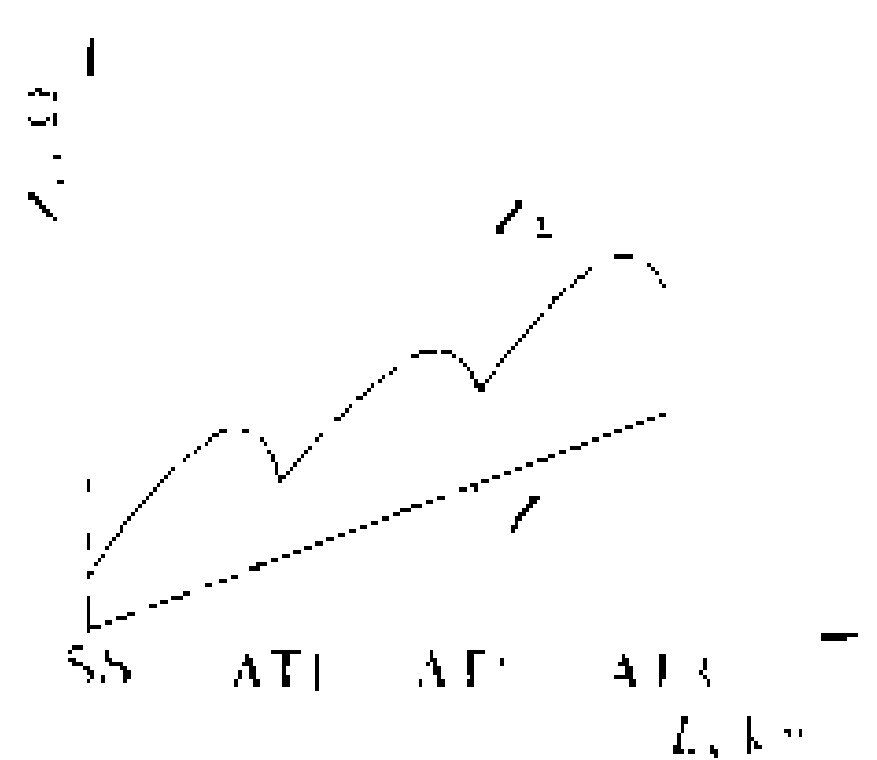


图3 单线 AT 网络阻抗曲线



$$x_T = u_k \% \times U_i^2 / S \tag{14}$$

式中 $u_k\%$ 为变压器短路阻抗百分值; U_i 为牵引网计算电压, kV; S 为变压器容量, MV · A。

主变压器为 Y, d 接线的变电所一相牵引母线负荷可对另一相牵引母线电压产生影响。如图 4, 引前相牵引负荷电流 I_f 将部分地流过变压器滞后相绕组, 而该电流相对于滞后相电压落后一个功率因数角 $\varphi + 60^\circ$, 这引起滞后相牵引母线的额外电压下降。相反, 滞后相牵引电流 I_b 也部分地流过变压器引前相绕组, 该电流超前于引前相电压 -60° , 超前电流使引前相牵引母线产生额外的电压升高。

$$\Delta U_{bf} = x_b \left[\frac{2}{3} I_f \sin \varphi_f - \frac{1}{3} I_b \sin (60^\circ - \varphi_b) \right] \tag{15}$$

$$\Delta U_{bb} = x_b \left[\frac{1}{3} I_f \sin (60^\circ + \varphi_f) + \frac{2}{3} I_b \sin \varphi_b \right] \tag{16}$$

式中 ΔU_{bf} 、 ΔU_{bb} 分别为引前相和滞后相牵引母线电压损失, V; I_f 、 I_b 分别为引前相和滞后相母线负荷电流, A; φ_f 、 φ_b 分别为引前相和滞后相负荷的功率因数角。

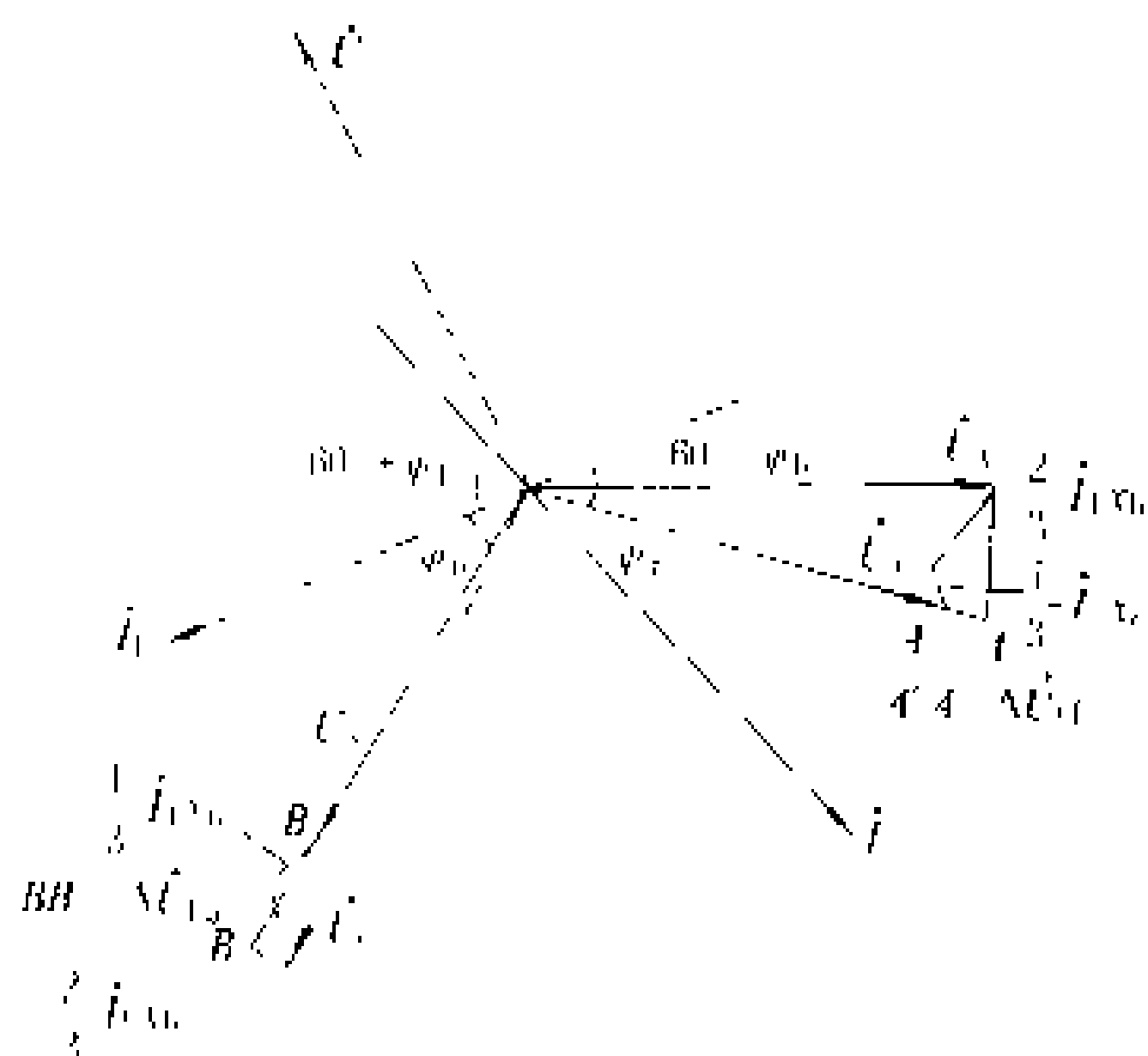


图 4 分析变压器 Y, d 接线的变电所母线电压损失相量图

牵引网电压损失 不同电力牵引供电方式下网络中某指定电力机车受电弓上的电压损失计算公式如表所示。

无功和谐波含量计算 见电力牵引高次谐波和电力牵引功率因数。

电压损失计算表

供电方式	计 算 公 式
直接供电方式	$\Delta U_k = (r \cos \varphi + x \sin \varphi) \left(\sum_1^j I_i l_i + l_j \sum_{j+1}^m I_i \right)$
AT 供电方式	$\Delta U_k = (r_L \cos \varphi + x_L \sin \varphi) \left(\sum_1^j I_i l_i + l_j \sum_{j+1}^m I_i \right) + (r'_L \cos \varphi + x'_L \sin \varphi) \left(1 - \frac{x_j}{D_j} \right) x_j I_j$

续表

供电方式	计 算 公 式
符号说明	r, x 为直供牵引网单位阻抗的电阻和电抗; r_L, x_L 为 AT 网络长回路阻抗的电阻和电抗; r'_L, x'_L 为 AT 网络列车在段中附加阻抗的电阻和电抗; j 为计算列车; $j+1 \sim m$ 为位于计算列车之后 (面对变电所) 的其他列车序号

(缪耀珊)

dianli qianyin gongdian xitong
电力牵引供电系统 (power supply system of electric traction) 向电力机车供电以实现电力牵引的电力网络。电力牵引供电系统一般由牵引变电所、馈电线、接触网、轨道回路、回流线等构成, 有时还设有分区亭、开闭所、AT 所。图 1 为电力牵引供电系统示意图。牵引供电系统按电流制分为交流和

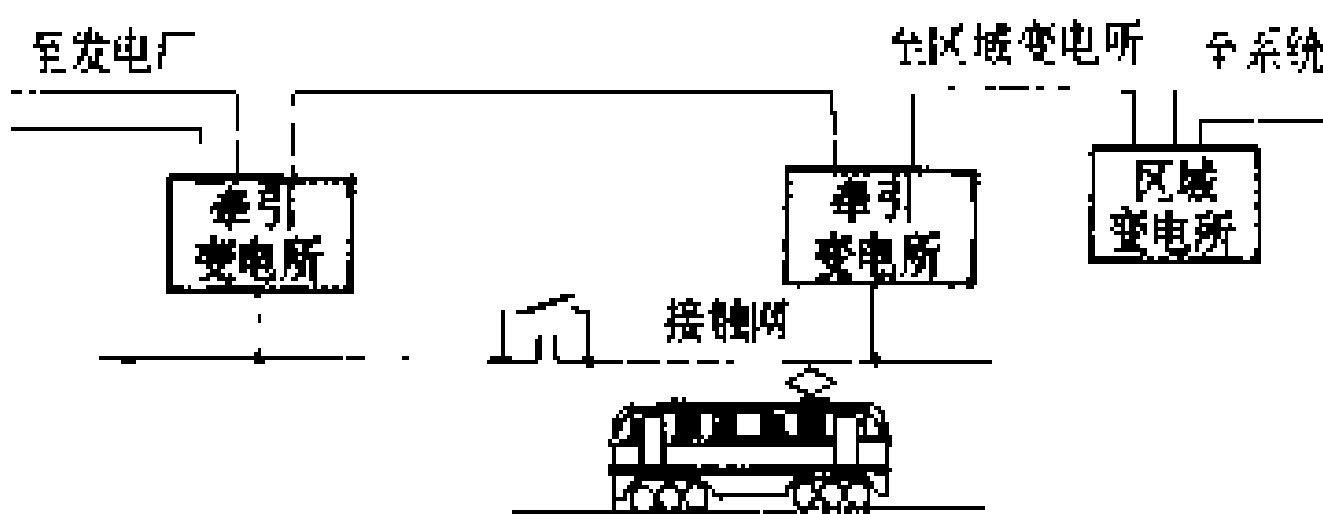


图 1 电力牵引供电系统示意图

直流两大类。其电能取自电力系统。牵引供电系统与城市供电系统的产权分界点在牵引变电所一次侧进线的门型架处。通常, 来自城市供电系统的电能, 在牵引变电所变换后, 经馈电线、接触网送到电力机车, 然后由轨道 (地) 回路、回流线返回牵引变电所。图 2 为牵引供电系统原理电路图。

牵引变电所 为电气化铁路供电的设施。根据电流制的不同, 牵引变电所可分为直流、低频交流和工频交流三种类型。(见电力牵引变电所)

馈电线 连接牵引变电所和接触网或经开闭所接触网的线路。其作用是将牵引负荷直接送到接触网或经开闭所送到接触网。

接触网 沿电气化铁路架空敷设的输电网, 它与电力机车受电弓的滑板接触, 将牵引变电所供给的电能送给电力机车。(见电力牵引接触网)

轨道回路 由钢轨构成的牵引负荷的返回通路。轨道回路的构造与闭塞方式有关 (见铁路信号)。在半自动闭塞区段, 牵引电流在钢轨中流动不受限制, 只要保证回路畅通即可。在自动闭塞区段, 钢轨中除有牵引电流外, 还有信号电流。由于牵引电流要求沿钢轨流动不受限制, 而信号电流却只能在闭塞分区内部流动, 为此, 在两相邻闭塞分区钢轨衔接处设有绝缘轨缝和扼

流线圈(见图3)。两个线圈分别设在绝缘轨缝的两侧,两端接钢轨,中性点用吸上线连接。其特性要求:①保证沿两根钢轨流动的工频牵引电流在不同闭塞分区顺利通过;②阻止沿一根钢轨流动的低频信号电流通过不同闭塞分区。

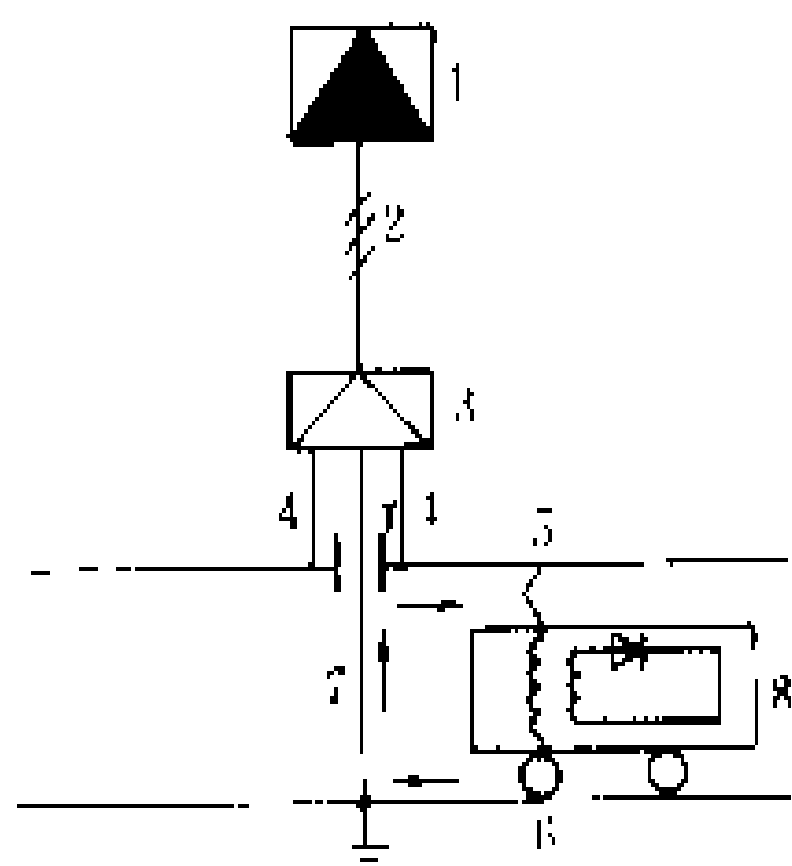


图2 牵引供电系统原理电路图

回流线 一般指连接钢轨和牵引变电所的导线。在BT供电网络中(见电力牵引BT供电方式),串接吸流变压器二次绕组的导线也叫回流线。回流线的作用是保证牵引电流返回变电所,其一端通过吸上线接钢轨或扼流线圈中性点,另一端接主变压器接地端子。

1—区域变电所或发电厂; 2—三相高压输电线; 3—牵引变电所; 4—单相馈电线; 5—接触网; 6—钢轨; 7—回流线; 8—电力机车

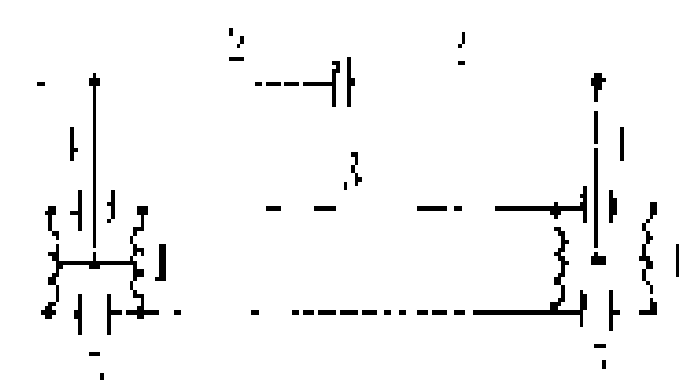


图3 有轨道时吸上线连接方法图

1—扼流线圈; 2—回流线; 3—钢轨; 4—吸上线; 5—绝缘轨缝

相邻牵引变电所供电分界处的分段设施,主要设备有断路器、互感器、变压器等。分区亭能根据需要,改变接触网运行方式,将相邻馈电臂或复线区段同一馈电臂的上、下行线路的接触网接通或断开,从而提高了供电灵活性和供电质量。

开闭所 提高接触网供电灵活性和缩小事故范围的供电分段设施。一般设在:①具有若干个独立车场的车站。此时开闭所由牵引变电所或正线接触网引入1~2根进线,经母线变成若干根出线,分别送到不同的车场。这样,各车场停电与否,互不影响。②采用AT供电方式(见电力牵引AT供电方式)的复线区段馈电臂的中部。此时开闭所将一个馈电臂(牵引变电所至分区亭)的接触网分成两段四个部分,每一部分可按需要投入或退出运行。

AT所 专设AT(Auto-transformer)的供电所,又叫自耦变压器所。

(吴天汉)

导体时,由钢轨通过轨—地间泄漏电阻漏泄到地中的电流。

在直流牵引时,加到接触网的电压为正极,加到钢轨的电压为负极,从而在机车取流处附近的钢轨电位较地电位为高,迷散电流由钢轨流向大地;在变电所附近钢轨电位较地电位为低,迷散电流由地中返回钢轨并回归变电所负极。当邻近电气化铁路有地下金属管道或其他地下建筑物金属构件时,迷散电流将在钢轨电位的正极区进入地下金属管道,在变电所附近的钢轨电位负极区由地下金属管道流出,进入钢轨。迷散电流在由钢轨或地下金属管道流出时,将产生电解作用,使阳极金属遭到电蚀。变电所附近地下金属管路在直流牵引迷散电流持续电解作用下,将加速腐蚀。电气化铁路可以采取以下方法尽量减少迷散电流:①提高接触网额定电压;②增加钢轨截面;③缩小电力牵引变电所供电臂长度;④提高钢轨对地泄漏电阻;⑤采用工频单相交流牵引供电方式。

为使地下建筑物金属构件免遭电蚀损害,关键在于使其电位较之周围大地电位呈负极性。具体防护措施有:

(1)直接电气排流。在变电所附近将被保护的地下建筑物金属构件与线路钢轨直接连接,使迷散电流直接返回钢轨。这种方法接线简单,造价很低。但在多个牵引变电所并联供电条件下,可能形成某个牵引变电所附近钢轨电位处于正极性区,从而使钢轨电流逆向流入被保护的地下金属建筑物,造成电蚀加剧。

(2)选择排流法。在被保护的地下建筑物金属构件和钢轨间加一个二极管,从而防止了钢轨电位处于正极性区时的逆向电流。

(3)阴极保护法。以外加直流电源的负极(阴极)加到被保护的地下建筑物金属构件上,而将正极接到专门的接地极(阳极)上,于是地下建筑物金属构件呈负电位,而接地极呈正极性,电解作用被转移到接地极上。

(缪耀珊)

dianli qianyin yuandong zhuangzhi

电力牵引远动装置 (telemechanical compensator of electric traction)

对牵引供电设施实行远距离集中监控的装置。牵引供电设施分布在铁路沿线,有的甚至位于人烟稀少的边远地区,运行管理十分复杂。电气化铁路从20世纪50年代末、60年代初开始采用远动装置,并且随着电子技术的进步,产品不断更新换代。中国从1963年起就开始第一代电子管远动装置的研制,而后又进行了第二代集成电路远动装置的研制。由于电子技术和微型计算机技术的飞

dianli qianyin misan dianliu

电力牵引迷散电流 (leaking current of traction load)

电力牵引在利用钢轨作为回流



速发展,远动制式更新得很快,90年代已进入第三代微机远动装置的研制阶段。这种远动系统的硬件易于组合,软件非常灵活,便于扩展容量,具有直观的屏幕显示,能监控、自动打印记录等。电力牵引的远动装置实行集中监控,可及时掌握供电设施的运行状态、节省人力和实现无人操作。最重要的是它能防止误传指令和误操作,因而提高了牵引供电的可靠性,保证运输安全;在有供电事故的情况下,调度人员可在调度所根据微型计算机显示和打印记录分析事故原因,在最短时间内排除故障、恢复送电;当接触网维修时,用软件代替人工操作可以缩短停、送电时间,带来的经济效益十分显著。

电力牵引远动装置由主机、分机及通道构成,采用1:N工作方式,即在电力调度所由主机控制N个被控站的分机。主机采用微型计算机,设2台,正常时1台运行,1台备用,故障时能自动切换。其他重要模块均双重化。被控站的分机采用由1台微处理器及其他智能化模块组成的多微处理机结构,能完成接收、处理、发送信息等功能。通道为链式结构,线路采用沿铁道埋设的电缆或光缆。

远动装置具有遥控、遥信、遥测等功能。

遥控 主要包括:

(1) 27.5kV及以上电压等级的断路器和隔离开关的控制;

(2) 27.5kV馈电线自动重合闸装置的切换;

(3) 必要的复归命令。

遥信 主要包括:

(1) 远动对象的位置信号;

(2) 事故总信号;

(3) 主变压器内部故障信号;

(4) 主变压器轻瓦斯动作信号;

(5) 主变压器过负荷及过热信号;

(6) 自动装置动作信号;

(7) 10kV单相接地信号;

(8) 变电所、分区亭、开闭所当地控制信号;

(9) 其他预告总信号。

遥测 主要包括:

(1) 主变压器电流;

(2) 27.5kV母线电压;

(3) 馈电线故障点的参数。

被控站所需远动装置容量,以电力牵引变电所为最大,通常需要遥控量50个,遥信量120个,遥测量25个。

远动装置管辖范围以调度台划分。每个调度台控制的供电设施一般为3~8个。

(吴天汉)

dianli qianyin zhijie gongdian fangshi

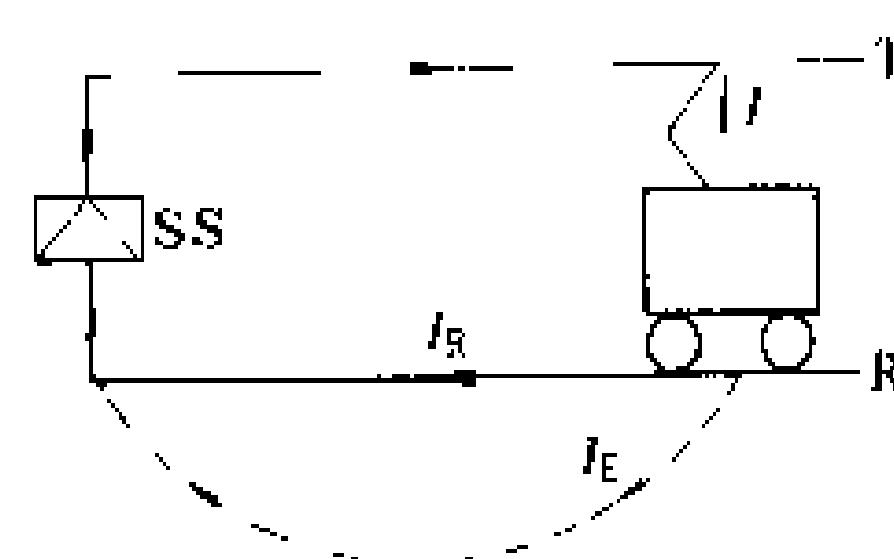
电力牵引直接供电方式 (simple feeding system of electric traction)

电力牵引的基本供电方式。它可分为一般直接供电方式(常称直接供电方式)及带回流线直接供电方式。由于直接供电方式具有简单、经济、适用等特点,得到了广泛应用。它在通信干扰方面的弱点也受到普遍重视,有的国家已列为专题进行研究。直接供电方式今后仍然是因地制宜、优先考虑采用的供电方式。

一般直接供电方式 利用钢轨及大地作为牵引电流返回通路的供电方式。电力牵引供电系统由电力牵引变电所及牵引网构成。牵引网包括馈电线、接触网、轨道(地)回路、回流线等。通常,牵引电流由变电所经馈电线、接触网直接送到电力机车,然后分成钢轨一回流线及钢轨一大地接地网两个并联的回路返回牵引变电所(见图)。

直接供电方式的主要特点有:

(1) 利用钢轨、大地回流,牵引网结构简单、造价低、施工及运营管理方便。



直接供电方式示意图

SS—牵引变电所; T—接触网; R—钢轨; I—机车电流; I_R —钢轨电流; I_E —地中电流

(2) 地中电流大。在直流电气化铁路上,地中电流对地下金属构筑物腐蚀严重。在交流电气化铁路上,流经接触网、地回路(其等效地回线的深度达数百米

至数千米)的单相工频牵引负荷电流,对沿铁路的通信线路干扰严重。因接触网、地回线与通信线路的相对位置距离悬殊,尽管两者的电流方向相反,钢轨起屏蔽作用,在通信线路上仍会造成危险的感应电压,对通信造成严重干扰。

(3) 泄漏电流引起的钢轨对地电位较高,对运营维修人员的安全不利。

带回流线直接供电方式 沿铁路设有回流线的直接供电方式。回流线又叫负馈线(negative feeder),与钢轨并联,其架设位置应尽量靠近接触网。

带回流线直接供电方式的主要特点有:

(1) 由于有了回流线,流经大地的一部分电流改从回流线返回牵引变电所。回流线的电流与接触网电流方向相反,两者对通信线路的相对位置接近,对通信干扰相互抵消,因而部分改善了牵引负荷对通信线路的干扰。

(2) 牵引网阻抗降低,能耗和电压损失减少,改善



- 了供电质量。
- (3) 钢轨泄漏电流减少，对地电位降低，对安全有利。
 - (4) 增设回流线，造价相应增加。
- (吴天汉)

dianli shikong kaiguan

电力时控开关 (electrical time switch)

按预定时间启闭电路，控制用电负荷的分散型电力负荷控制装置(见电力负荷控制装置)，又称定时开关钟。它是按预置时间程序接通、切断或转换电路的开关系统，用于定时拉合电力开关以控制需要定时运行的用电设备、测量仪表等。中国主要将电力时控开关用于控制用电单位或部分用电设备，使这些单位或设备避开电网高峰负荷时段用电；控制电能计量装置的计量时段，以适应用电负荷调整或实行分时电价的需要；按固定时间拉合路灯等电气设备的开关。其工作原理是用时钟不同时间的电气触点，定时控制其输出继电器，达到按预定时间启闭电路的目的。

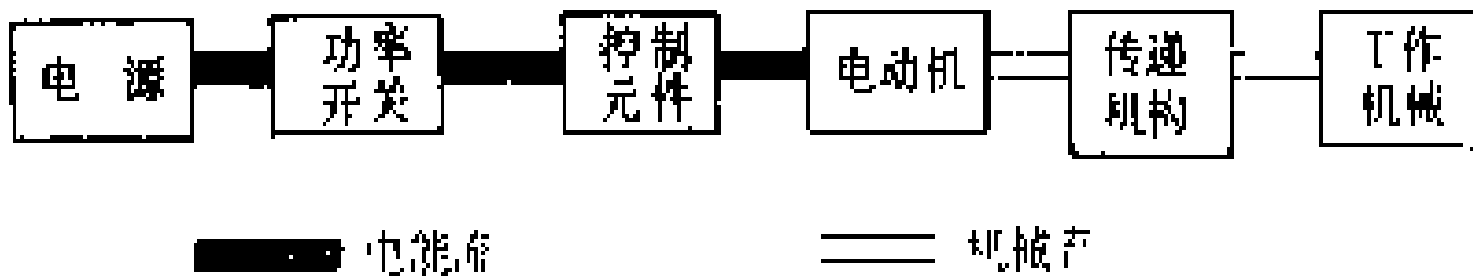
电力时控开关在世界上早有应用，20 世纪 30 年代开始用于切换电能计量装置。20 世纪 70 年代为适应计划用电工作的需要中国大量定型生产电力时控开关。

(曲涛 顾嘉乘)

dianli tuodong

电力拖动 (electric drive) 以电动机作为原动机拖动生产机械运动的一种拖动方式，又名电气传动或电力传动。利用电力拖动，可以实现电能与机械能之间的转换，并能按照生产工艺要求方便地控制电动机输出轴的转矩、角加速度、转速、角位移(对于直线电动机则相应为力、加速度、速度、距离)以及被拖动机械或机械组合的多种多样的起动、运行、变速、制动等。电力拖动的应用在节约能源、改善劳动和环境条件、提高产品的质量和产量、节约原材料等方面带来了明显效益。因此，电力拖动已广泛地应用于工业、农业、商业、军事等部门中的加工、运输、设备制造以及改善环境条件等诸多方面。

组成 电力拖动主系统是由电动机、机械传递机构、工作机械组成的机电系统。如图所示，电动机的输



电力拖动主系统的组成

入端经过功率开关和控制元件由电网供电，其输出端通过传递机构的一定的传递比与工作机械相连接。按

电动机供电电流的制式不同，可分为直流电力拖动和交流电力拖动。

电力拖动中各个设备和装置的技术特点与典型负载(工作机械)的负载特性，负载的工作制，作传动电机用的电动机(直流电动机、感应电动机、同步电动机及一些特殊电动机)的原理和基本特性，交流电动机、直流电动机的各种起动、调速和制动方法等有关。

为了实现电力拖动按期望的方式运行，应当对电力拖动的运行加以控制、保护和监视，因而应增加控制、保护、测量和监视等分系统，即信息处理分系统。电力拖动主系统和信息处理分系统一起构成了完整的电力拖动控制系统。

特点 电力拖动技术具有以下特点：①宽广的运行参数。输出功率：从小于 1 W 的小电动机至 100 MW 的蓄能电站的抽水泵电机。输出转速：从低于 1 r/d~10⁵ r/min。调速精度：可达几十万分之一。调速比：单台电动机的调速比达万倍以上。输出转矩：可大于 10⁶ N·m。②环境适应性强。电力拖动既不使用有危险的燃料，又不排出废气，不污染环境，转矩平稳，振动轻，噪声小，可用于全封闭、强迫通风、沉浸在液体、特种气体之中以及暴露于易爆或有放射性的环境之中。③可在瞬间加上全负荷而不必预热，短时过载能力大，可长期安全运行。④控制性能好，能量的转换效率高，易于实现转矩-转速平面的四象限运行。制动时能量可回收(回馈电网)。⑤可方便地构成自动控制系统。⑥电动机的单位重量的输出功率，要比高压液力传动装置和内燃机小。⑦大型电力拖动变流装置对其供电网络可能产生不良影响，即引起高次谐波的干扰以及功率因数降低，必要时需相应解决谐波吸收及无功补偿问题。⑧电力拖动通常由电网供电，与其他动力比较，优点明显。但对车、船、飞行器中使用的电力拖动设备，则必须另行解决其电源问题。

发展简史及趋势 自从 1838 年 Б. С. 雅科比 (Борис Семёнович Якоби, Moritz Hermann von Jacobi) 完成可供实用的直流电动机以来，电力拖动技术开始逐步形成。1838 年 Б. С. 雅科比使用化学电池给直流电动机供电，用以驱动小船的推进器。1875 年由德国西门子(SIEMENS)公司制造出世界第一台发电机，同年世界上第一台电力机车在德国柏林作展览运行，4 个月共载送乘客 9 万人·次。1882 年西门子公司将直流串励电动机正式用于电力机车。1885 年两相交流电动机原型问世。1889 年 М. О. 多利沃-多布罗夫斯基 (Михаил Осипович Доливо-Добровольский) 发明三相交流感应电动机。1891 年出现电动发电机组 (Ward-Leonard)，1894 年德国 AEG 公司为矿井卷扬机提供了功率为 100 kW 的沃德-列奥纳德 (Ward-Leonard)

电力拖动装置。同年,瑞典 ASEA 公司也为瑞典钢铁公司提供了轧机电力拖动装置。1901 年库珀-休伊特 (Cooper-Hewitt) 发明不可控水银整流器。1906 年 AEG 公司提供可逆轧机电气设备,峰值功率达 7600 kW。1907 年由 AEG 公司制成了 10 kW、600~1200 r/min 的交流整流子调速电动机。1918 年前后,由于大量使用三相感应电动机使交流电网的功率因数普遍偏低,为了改善功率因数,同步电动机开始发展。19 世纪末到 20 世纪 30 年代,电动发电机组直流调速逐步得到发展并推广应用,成为当时性能最优越的电气调速。1926 年 AEG 公司提供 Ilgner 传动装置,功率为 12000 kW。1928 年发明热阳极水银整流器。此后,经历了以离子器件(如汞弧整流器、闸流管等)供电的拖动系统、晶闸管励磁系统。近年来,由晶闸管、电力双极型晶体管 (BJT)、门极可关断晶闸管 (GTO)、功率场效应管 (POWER MOSFET) 和绝缘门极晶体管 (IGBT) 等组成的供电系统发展迅速,并已推广应用。电力拖动控制系统的发展与新型电气元器件及微电子器件开发与推广应用是紧密相关的。在 20 世纪 30 年代以前使用继电器-接触器控制;30~50 年代盛行电机放大机控制;50~60 年代磁放大器部分地替代了电机放大机;在 40~60 年代电子管控制装置和半导体控制装置相继投入应用;近年来又进入了使用集成电路、微机及数字控制的发展过程。

电力拖动的发展趋势:①调速传动的比重将增加。交流调速技术的进步和人们从节能、延长被拖动机械的使用寿命和提高工作质量、自动化水平等需要出发,将使许多历来采取恒速传动的场合转向改用调速传动。②高性能交流传动的发展,带来交流传动取代传统的直流传动的趋势。③一般中、小型电机控制设备向结构紧凑,多功能并能与计算机、可编程序控制器接口的方向发展。④调速装置向数字化方向发展。⑤电力拖动用于移动车辆,对于净化环境、发展新的产业,前景诱人,因此,必将促使相关技术(化学、物理电池等)的迅速进步。⑥将带有信息处理和控制功能的电力拖动系统附加或融合在机械装置中,有人称之为机电一体化。⑦随着电力电子技术、微电子技术的迅猛发展,电力拖动的概念已经演变到具有“电气自动化”、“电气控制”等新的含义。当今的运行控制系统 (motion control system) 是一个新的技术领域,它包含着电机、电力半导体器件、变换器电路、作为硬件信号的电子技术、自动控制理论和微型计算机、计算机辅助设计技术等众多学科。

参考书目

段文译,董明做编著,电气传动控制系统及其工程设计,重庆:重庆大学出版社,1989

W. 莱昂哈特著,电气传动控制,吕嗣杰译,陈伯时校,北京:科学出版社,1988

(黄继鹤 施传立)

dianli tuodong dianxing fuzai texing

电力拖动典型负载特性 (typical torque - speed characteristic of electric drive)

电力拖动负载的转矩 M 随转速 n 而变化的曲线,又称负载转矩特性。为生产机械选配电力拖动系统时,必须考虑到将要建立的新系统在运动过程中能否稳定,及所选系统的输出特性既要符合工艺要求,又要经济合理。为作出这些判断,除了要掌握电动机的机械特性外,还要知道被拖动机械的负载转矩随转速而变化的特性。典型的负载特性有恒转矩负载特性、恒功率负载特性和风机、泵类负载特性三种。但实际生产机械负载转矩特性也可能是以上三种典型特性的综合。

恒转矩负载特性 负载转矩不随转速变化,且保持恒定或大致恒定的负载特性。恒转矩负载特性又可分为反抗性恒转矩负载特性和位势性恒转矩负载特性两种。

(1)反抗性恒转矩负载特性。指恒值负载转矩总是与运动方向相反的负载特性,见图 1,如机床的平移刀架、造纸机等的负载特性。有的电力拖动被拖对象的反

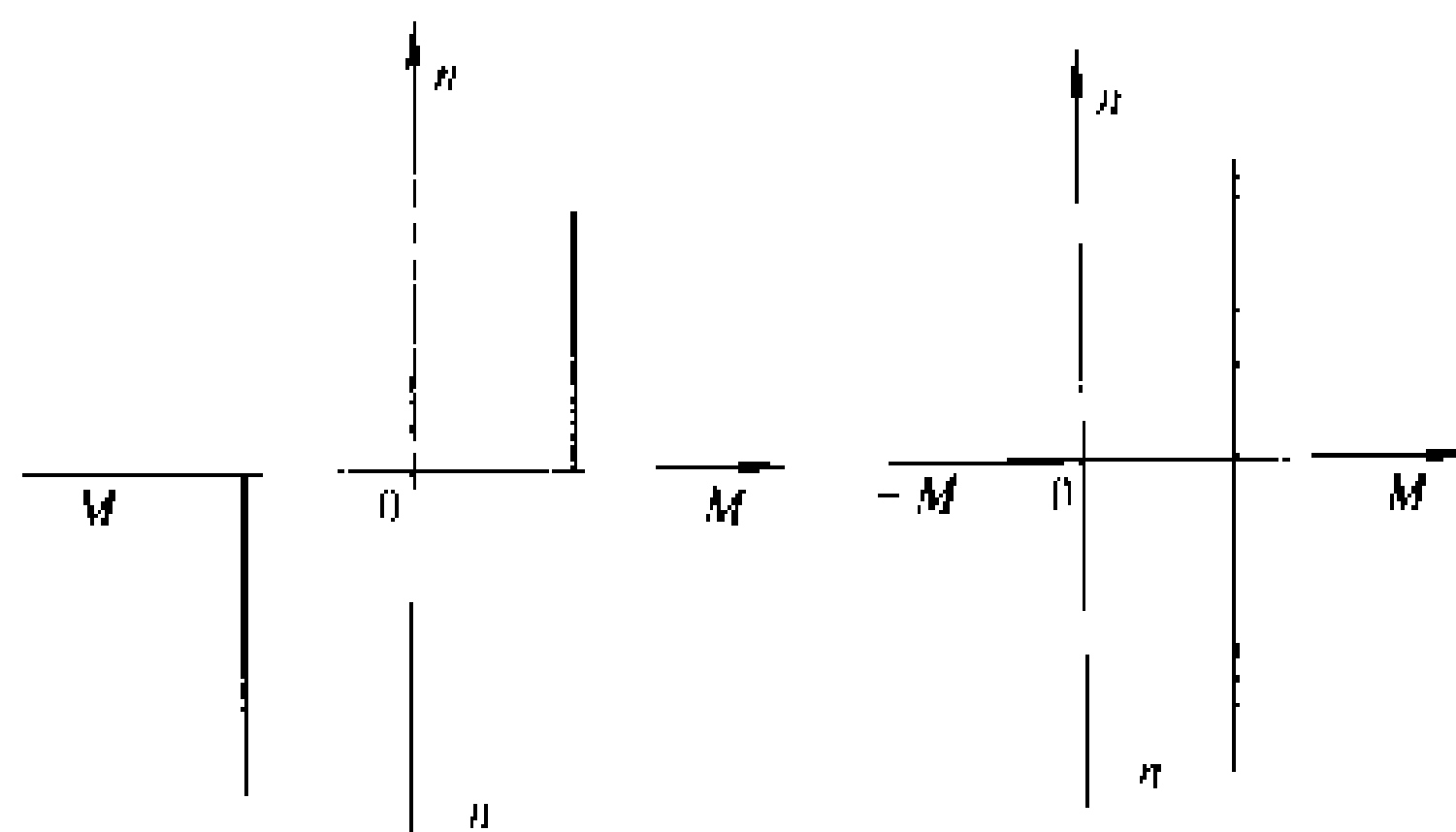


图 1 反抗性恒转矩负载特性

图 2 位势性恒转矩负载特性

抗性负载转矩是转角的周期性函数。活塞式压缩机即属此种类型,其转矩可按平均转矩考虑。在实际机械中,常用飞轮作储能元件来减小转矩脉动。

(2)位势性恒转矩负载特性。指恒值负载转矩具有固定的方向,不随转速方向改变而改变的负载特性,见图 2,如起重机、电梯等的负载特性。

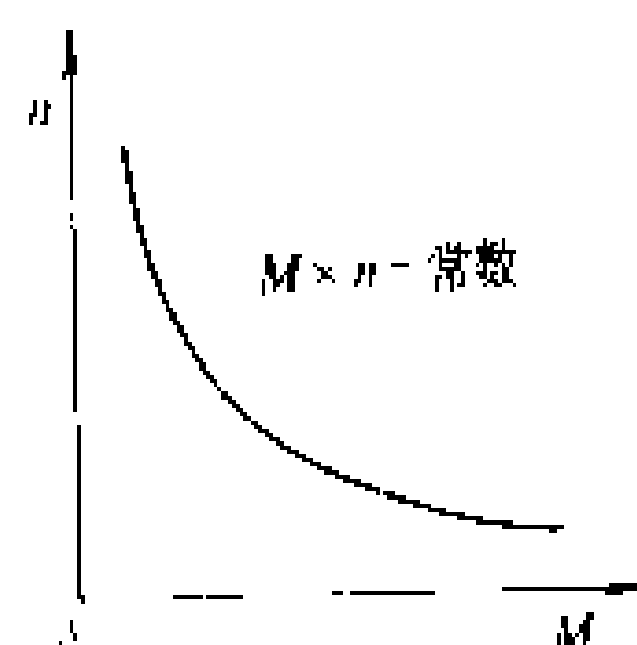


图 3 恒功率负载特性

恒功率负载特性 在调速时电动机的输出功率保持恒定或大致恒定的负载特性, M 与 n 的关系是双曲

线,见图3。如要求恒张力收卷的卷取机,设上道工序加工出来的带材的移动速度 v 为恒定值,忽略卷筒的机械阻力,则仅需保持卷取电动机的输出功率不变,即可在稳定的收卷过程中(包括卷径由小变大的过程)保持带材的张力 T 不变。

卷取电动机的输出功率 $P=Tv=kMn$,其中 k 为常数。在 T 、 v 都为恒值情况下,控制卷取电动机在不同转速下的输出功率不变,卷取机就成为恒功率特性的负载,见图4。

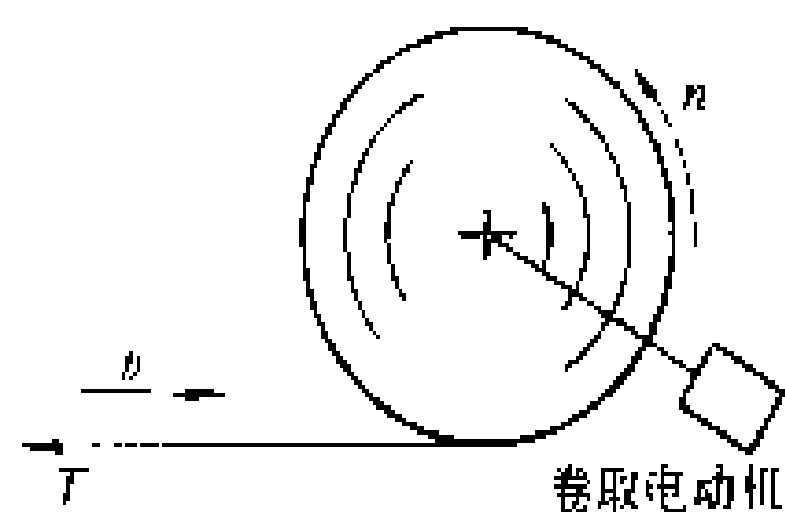


图4 卷取机示意图

有较大转动惯量,施加负载时,速度略降低,放出动能做功,电动机功率可适当减小。它们对电力拖动系统的要求是有足够的起动和过载转矩。

短期工作制 生产机械经较长时间(电机冷却到与冷却介质温度之差在2 K之内)间隔起动、停止或加减速一次,完成一个工作循环,如起停式剪切机械,要求电力拖动系统提供足够的起动及过载转矩,发热校验通常均能通过。它们对起动、制动、加速和减速的时间、行程有要求,因此需有足够的加减速动态转矩。

重复短期工作制 生产机械周期性的起动、停止或加速、减速的时间间隔较短,如可逆轧机、矿井提升机械等。它们除了要求有足够的起动、制动转矩,以满足机械对加减速时间、行程的要求和过载能力外,还应进行发热校验,更要考虑加速、减速电流所增加的损耗。

(黄继鹗 施传立)

dianli tuodong kongzhi shebei

电力拖动控制设备 (electric driving control gear) 控制用电设备的开关电器与控制、测量、保护和调节、功率变换等装置的组合及上述电器和装置的互相连接部分、辅件、外壳和支持件组成的成套设备。电力拖动控制设备可分为低压电器电控设备、装有电子器件的电控设备、自动化电控设备三种。

低压电器电控设备 以电机为主要控制对象,以开关电器为主组成的控制、测量、保护和调节装置。如起动笼型感应电动机用的星-三角起动器、起动绕线转子感应电动机用的频敏变阻起动器等。

装有电子器件的电控设备 以电机为主要控制对象,以电力作为能源,使用电子器件,按照规定的指令,及时地控制工作机械的起动、制动、运转方向、工作转速及工作程序等功能的一种控制设备。如晶闸管(Thyristor)相位控制的龙门刨床电气控制设备、电力双极型晶体管(BJT)作功率器件的水泵电气调速设备等。

自动化电气控制设备 使用可编程序控制器、微型计算机、屏幕显示装置及有一定智能的检测、保护装置实现故障自诊断及某种最优化为目标的控制、调节、保护等功能的电控设备。如带有故障自诊断功能的全数字调速装置、群控电梯自动调度及其故障自诊断装置等。

(黄继鹗)

dianli tuodong kongzhi xitong

电力拖动控制系统 (electric drive control system) 实现电力拖动并保证电力拖动按期望的方式运行所加的控制电路等构成的整体。电力拖动



是以电动机作为原动机拖动生产机械运动的一种拖动方式。随着生产过程向自动化、连续化发展,生产机械常常需要依靠电力拖动来完成各种复杂的运动,使生产机械能够按要求加速、减速、制动、反转,使被控制量保持恒定或按一定的规律变化等等。这些要求通常由一套完善的控制、保护和监视电路来完成。

电力拖动控制系统的发展是与控制器件的发展密切相联的。19世纪二三十年代以前应用的是继电器—接触器控制;继而出现了交磁放大机控制、水银整流器控制、磁放大器控制;50年代后期晶闸管问世;60年代后期基本上解决了交流调速传动在工业中应用的关键技术问题。体积小、响应快的器件的发展,宽调速、高起动力矩等新型电机的问世,数字控制、计算机控制等新技术的应用,使电力拖动控制系统得到了迅速发展。例如调速系统的调速精度已由百分之几提高到千分之几、万分之几,调速范围从几十比一提高到几百、几千甚至几万比一。特别是近一二十年来,由于电子技术和控制理论的飞跃发展,电力拖动控制技术已成为电力电子元件与自动控制技术和计算机技术相结合的新领域,使电力拖动控制系统实质上已变为电力拖动自动控制系统,并且,已由过去的实现单机自动化和进行单参量(如速度)控制的电力拖动控制系统,过渡到实现多机或多变量控制的电力拖动控制系统。

系统构成 电力拖动控制系统的基本构成如图1所示。全系统包含有两个分系统:一个是能量分系统,为传动系统的功率部分,又称主系统;另一个是

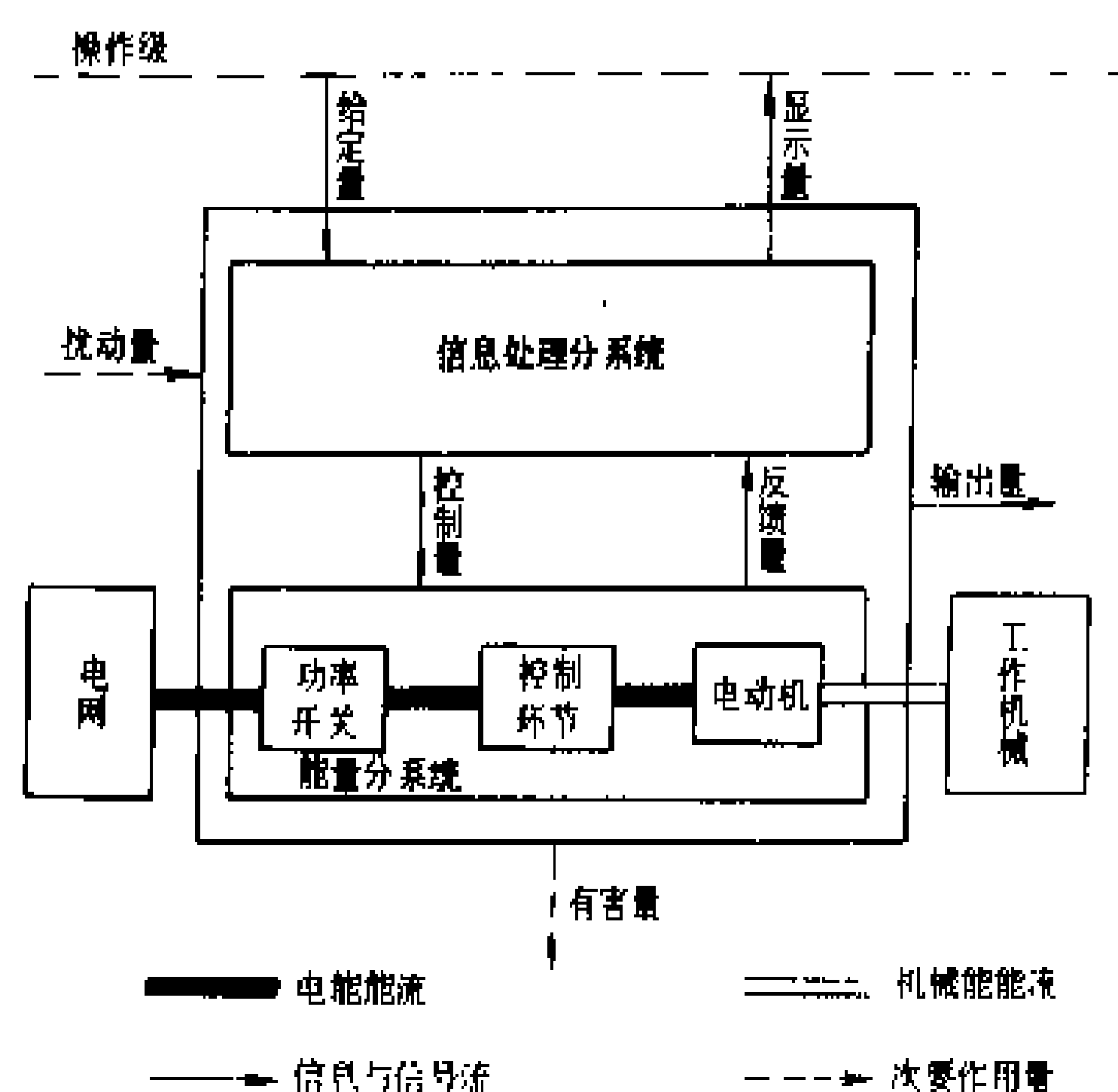


图1 电力拖动控制系统的基本结构

信息处理分系统,实现控制、保护和监视的功能,又称控制、保护及监测系统。信息处理分系统输出的控制量,传送到主系统中可以影响的部件(如功率开关,控制环节和开关驱动电路等)。控制量和显示量均是由给定量和反馈量经过信息处理分系统按一定规

则作用而形成的量。各个分系统还存在着内部扰动量,它们产生着不利的影响,如系统元件之间的寄生耦合,系统元件的磨损、腐蚀及疲劳效应等。全系统有两种输入量:一种是给定量,其所载有的指令信息是由操作人员手动给出的,或者是由上一级自动化功能装置发出的;另一种是扰动量,它是以独立变量形式作用在传动系统上的,并且对系统的功能和特性常产生不利的影响,系统的输出包括与功能有关的输出量以及有害量。输出量是受控制作用影响的变量,即被控量,如机械部件的行程、角度、速度和加速度。有害量包括机械振动、杂音、噪声、能量损耗及引起的发热现象、电磁场辐射及其干扰、开关过程中由变流装置控制环节引起的对电网不利的反作用(谐波)等。显示量是向操作人员提供的传动系统及其元件运行状态和运行能力显示的量,如电动机电压、电流、转速及其他被监视的量。

分类 电力拖动控制系统按被控量的特征或被控量与给定量之间的关系可以分为转速控制、张力控制、位置控制、伺服系统、交流电轴等。根据给定量的不同变化规律,可以分为:定值(恒值)系统、随动系统、程序系统。

转速控制 对电动机进行加速、减速、起动、制动、正转和反转的控制。这是生产机械对电力拖动控制系统最普遍的要求。

张力控制 对在两个加工设备之间作连续运动或静止的被加工材料所受的张力(拉力)进行的控制。在各种连续生产线上,各种带材、线材、型材及其再制品,在轧制、拉拔、压花、涂层、印染、清洗以及卷绕等工序中常常需要进行张力控制。张力控制可以是恒张力控制,也可以是变张力控制。

位置控制 对被驱动物体的空间位置进行的控制。空间位置可以是一维、二维或三维空间的位置。这种控制应用非常广泛,各种机械加工设备、许多工业装置都需要进行位置控制。

伺服系统 泛指使输出变量精确地跟随或复现某个过程的电力拖动控制系统。在很多情况下,伺服系统是指被控制量(系统的输出量)为机械位移或位移速度、加速度的反馈控制系统。其作用是使输出的机械位移(或转角)准确地跟踪输入的位移(或转角)。如船舶的舵机装置、坐标镗床、冲床、铣床、车床等机械加工设备等都要用到伺服系统。

交流电轴 利用绕线转子感应电动机实现两倍以上传动点的同步运转的系统。这种系统用于龙门吊,船闸闸门、水库闸门启闭装置,大型金属切削机床等生产机械。

定值(恒值)系统 系统的给定量为常值,该系统



的基本任务是保证在任何扰动作用下，使输出保持恒定的期望的数值。如在运行过程中保持电动机的转速或由转速决定的某一工艺参数（如机床车速、张力、线速度等）为期望的数值。定值系统最常见的是稳速系统。至于工艺过程其他参数的定值系统与稳速系统的结构和作用原理则有所区别，将他们归并为同一类，只是为分别研究提供一个基础。

随动系统 系统的给定量是预先不知道的时间函数，该系统的基本任务是保证在任何扰动作用下，使输出量复现可能按任意规律变化的输入（给定）量。如高炮自动控制系统，其输入量是敌机的高低、方位、距离等未知变量，输出量（炮管运动）必须跟踪输入量（敌机目标）。随动系统又称跟随（或跟踪）系统（有位置跟随、速度跟随和加速度跟随）。它在军事、航空和航天以及一般工业部门中得到了广泛应用。

程序系统 系统的给定量随时间有一定的变化规律，并由程序给出。该系统的基本任务是使输出按给定的程序变化。程序系统构成原理的不同，在很大程度上取决于程序给出的形式不同。数字程序控制系统应用最为普遍，其中程序库可以是磁带或磁盘、穿孔卡或穿孔带，但也可用别的形式给出程序。在仿型金属切削机床上，是以产品工件模型的形式给出程序的，用以实现切削刀具在产品工件上重复模型形状的运动。

技术要求 现代电力拖动系统可以完成各种形式完全不同的运动，以满足负载的需要。实现这些不同运动的技术主要是：①自动地控制起动、制动和反转，以及维持速度、转矩和功率在一定的水平上，并具有足够

的准确度和快速性；②准确地复现由人工或指令装置给出的指令信息，以满足生产过程、科学试验以及日用电器的技术要求；③为确保操作人员及技术设备的安全和防止不允许的运行状态，系统应能自动保护与闭锁；④为进行观察、报警、抑制干扰、产生调节指令以及记录、储存或者在指令装置上进行信息传递等，应设有测量及监控装置；⑤提高系统的效率，降低装置成本，减少能量消耗，减少系统对周围或电网中的其他系统和设备的影响。

方案选择 在明确了某电力拖动控制系统的具体任务和技术要求之后，电力拖动控制系统的方案选择是极其重要的，它包括功率回路、控制回路及保护和监视回路的方案选择。前一回路为能量分系统，后两回路组成信息处理分系统。

功率回路方案 电力拖动控制系统设计的任务是使电动机的运动转变为所需要的旋转或直线运动。这种转变是在能量分系统内实现的，这部分通常称为功率回路。它应尽可能地简单、集中，无减速器或少减速器传动。这除了能节约减速器费用、减小装置体积和机械传递损耗外，还可以使系统有良好的动态性能。采用无减速器传动可以突破有减速器传动的功率限制和转速限制。但是，减速器又可以使电动机的运动与所使用场合的运动相匹配，从而可以应用标准的电动机，否则，需要应用特种电动机。表1列出了几种可能的选择方案。电动机类型的选择，即选用直流传动还是交流传动，取决于系统性能的要求和周围的条件（见直流电动机调速和交流电动机调速）。

表1 功率回路方案选择

	旋 转 运 动		直 线 运 动	
所要完成的任务	$\omega=f(t)$ ，在负载（转矩） $M_L=f(\omega, t)$ 时		$v=f(t)$ ，在负载（力） $f_L=f(v, t)$ 时	
应遵守的补充条件	运动过程没有限制		运动过程有一定的限制	
可 能 方 案	用旋转电动机实现		用直线电动机实现	
	无减速器旋转传动装置	利用减速器使电动机的运动与工作机械的运动相配合	利用连杆机构使电动机的直线运动与工作机械相配合	无减速器直线传动装置
应用实例	初轧机、管磨机传动装置	压缩机、车床和铣床的主轴传动装置	导轨传动装置，进给传动装置，伺服传动装置，起重机	包装机 运输底板传动装置，开门传动装置

控制回路方案 控制回路是信息处理分系统的主要部分。需根据系统要求确定控制回路的信号类别和结构。

(1) 信号类别。首先应选定信号的类别，表2为可能采用的几种信号的比较。除了采用典型的两状态信

号、幅值模拟式信号和其他数字式信号外，还有的采用频率模拟式信号和相位模拟式信号。后两种信号种类兼有模拟式信号和数字式信号的优点。模拟式信号的优点是，只要采用简单的外部接有电路元件的放大器，就可以实现调节回路的动态校正。但采用数字式信号

时,则需要一定的计数和运算电路才能解决。利用高集成化的组件可以减小费用,但不能减少测量装置和输入装置的费用。从经济上看,采用两状态信号要比采用模拟式信号好,采用模拟式信号要比其他数字式信号

好。但是从精度和分辨率来看,数字式信号要比模拟式信号好。决定用哪种信号时,同样也需要考虑到制造、试验等其他问题。
(2) 控制回路结构。控制回路的构成同所采用的

表 2 电力拖动控制系统中的信号

	名 称	信号波形	典型的输入装置和测量装置	其他选择准则
模 拟 式 信 号 (信号参数可以在一定的范围内任意取值)	1. 幅值模拟式信号		电位器 测速发电机 直流变换器 电位隔离装置费用大	装置成本极低,对扰动很敏感,实际上不能存储信号
	2. 频率模拟式信号		频率发生器,增量式速度发送器 测量装置费用大	可以有高的精度,对扰动相当敏感,信号容易变换为本表中6或7的形式
	3. 相位模拟式信号		旋转变压器,自整角机,感应同步器	可以有高的精度,装置成本很低,对扰动敏感,信号容易变换为本表中6或7的形式
	4. 脉冲宽度调制信号		极限值发送器	装置成本低,可以实现快速调节
数 字 式 信 号 (信号参数可以在有限的数字范围内取值)	5. 两状态信号		开关 继电器 极限值发送器	装置成本很低
	6. 多点式信号 I 为每节拍间隔 T 内的脉冲数		频率发生器与节拍发送器连接的 增量式速度发送器	信号可存储和准确地复现,可以有高精度和高分辨率,信号容易变换为本表中7或8的形式
	7. 串行数字信号 信息参数 $I_1, I_2, \dots, I_n (n \geq 1)$		穿孔带阅读器 编码输入装置 行程和角度编码测量装置	信号可存储和准确地复现,可以有高精度和高分辨率,可以在计算机中进行信号处理
	8. 并行数字信号 信息参数 $I_1, I_2, \dots, I_n (n \geq 1)$		穿孔带阅读器 编码输入装置 行程和角度编码测量装置	信号可以存储和准确地复现,可以有高精度和高分辨率,可以在计算机中进行信号处理

信号种类有密切的关系,主要有开环与闭环调节两种基本调节系统。①开环调节,没有反馈量的调节系统。因而在某种扰动作用下使输出变量偏离给定值时,系统给定量(输入端的控制信号)仍保持不变。如图 2 (a) 所示,当电网电压的变化、负载转矩的变化等扰动作用于控制对象(如变流器、电动机和生产机械)时,会导致输出量偏离其给定值,扰动作用下的静态和动态特性由控制对象的参数决定。这种系统除了适用于质量要求不高的两状态和模拟式控制系统外,也可用于具有频率模拟式信号的高质量步进传动的控制系统中。②闭环调节,带有反馈量的调节系统。当输出变量的实际值偏离给定值时,通过从系统的输出端引出被控量的反馈量到输入端,与给定值相比较,将两者比较

后的偏差作为控制信号,使作用到主系统的控制量发生变化,输出量自动地回复到给定值所确定的数值。闭环调节既可以提高调节精度,也可以改善系统的动态品质。如果以最大的允许加速度、减速度使电动机启动、制动或正转、反转,输出量能无时延地跟随输入量而变化,使系统稳定工作。图 2 (b)、(c) 所示为单闭环控制调节系统。如果所完成的任务只是监视极限值或只是控制一个量(例如转速或电流),则可采用这种系统。对监视极限值的系统,可以按照测量极限值的原理构成具有两状态环节的两状态调节系统,见图 2 (b)。这种系统在使用无触点开关的情况下对于调节电流、温度、压力以及其他量都是一种既便宜而动态性能又好的调节系统。一般电力拖动控制系统的应用中,



往往需要调节好几个量（例如转速和电流），由两个或多个闭环调节回路来共同控制一个调节对象，可以采用并联调节系统或串联调节系统，分别如图 2（d）、（e）所示，即多闭环调节系统。并联调节时，由一个转换电路决定让哪个闭环起作用。这个工作回路可以是具有最大调节偏差的调节回路。在采用模拟式调节时，转换电路用电阻—二极管网络；在采用数字式调节时，用其他相应的电路。串联调节系统的特点是内环的输入量由外环供给，因此，所有的调节回路都始终工作。内环的调节作用使外环的调节任务更为简单化。采用标准组件可以很容易地实现串联调节系统。因此，模拟式调节系统应优先采用这种方式。

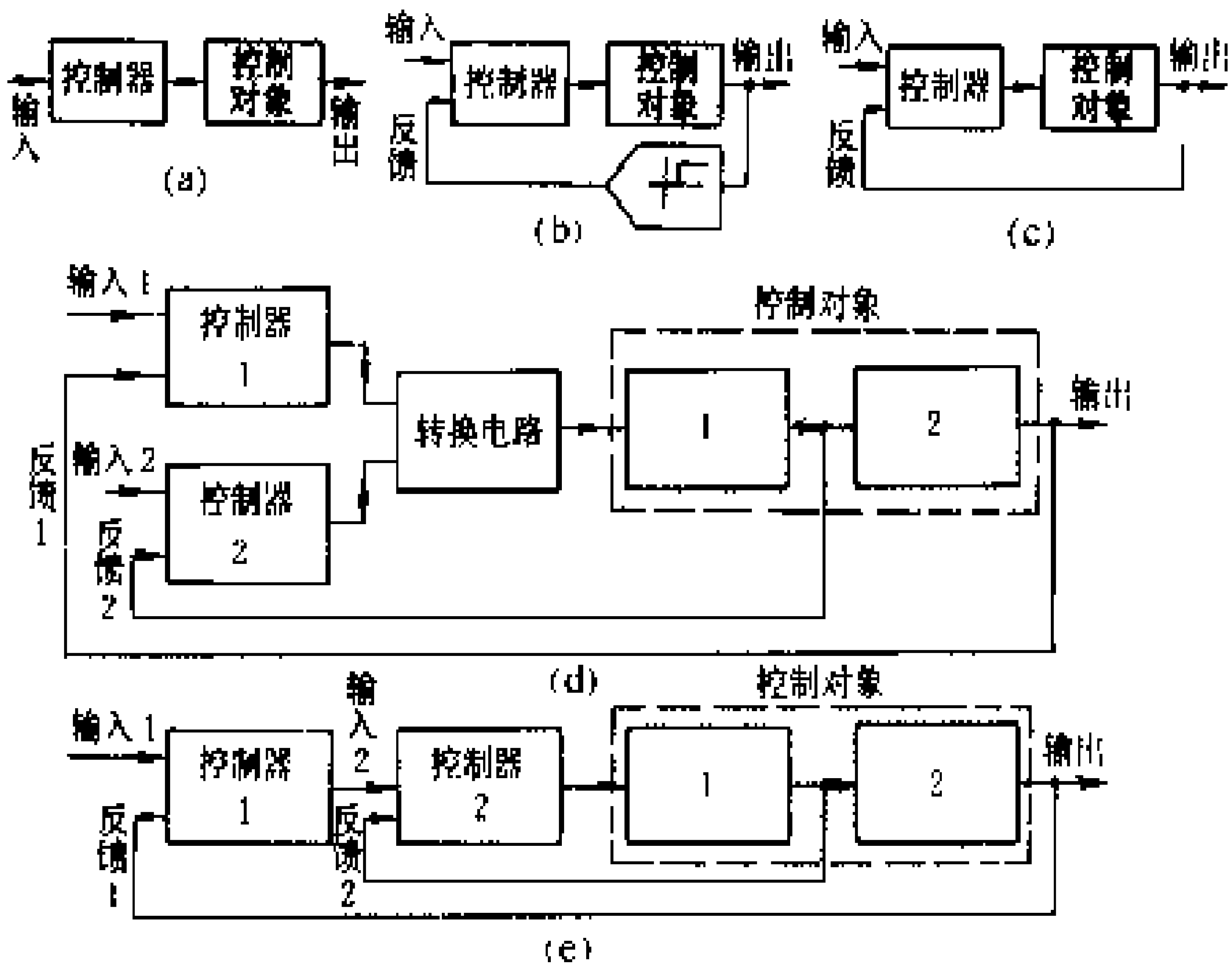


图 2 调节系统

（a）开环调节系统；（b）两状态单闭环调节系统；（c）模拟式单闭环调节系统；（d）多闭环并联调节系统；（e）多闭环串联调节系统

保护和监视回路方案 在分析电力拖动系统与电网、操作台等的连接、作用于拖动系统上的外部扰动量和可能的内部扰动量等问题基础上，制订出电力拖动系统的保护和监视回路的方案。保护和监视回路主要包括：对功率回路的组件所采取的保护措施，对信息处理装置所采取的保护措施，对电力拖动系统运行状态和运行能力所应有的检测和监视等。图 3 为电控系统中常用的整流装置的保护、监视方案的示意图。

（1）功率回路的保护。电动机的保护应根据所选用的电动机类型、容量及所带生产机械类型、重要性等因素，按电工设备的有关标准，确定相应的保护，一般装设有过电流、过电压和低电压、过负荷等保护。（见直流电动机保护，交流电动机保护）

由于电力拖动系统采用的电力电子装置愈来愈多，功率回路的保护还应包括对电力电子装置的保护。电力电子装置受所用器件性能的影响，承受过电压、过电流的能力比较差，通常电动机、变压器可在几倍的额

定电流下工作几秒钟或几分钟，而电力电子器件只要 0.1 s 或更短时间就已损坏。为了提高电力电子装置的可靠性，除合理选择电力电子器件的电流、电压和功率容量外，还应采取过电流保护和过电压保护。过电流保护主要有快速熔断器、交流断路器、快速直流开关、快速短路器、电子电路检测和保护等五种。快速熔断器的熔断时间通常在 20 ms 以内，常用于工频整流电路中保护整流二极管和晶闸管，对于快速晶闸管、大功率晶体管等，快速熔断器的熔断时间仍显得太长，一般不直接用作过电流保护。交流断路器动作时间较长，约为 0.1~0.2 s，其主要作用是切断交流电路与交流电源的连接，防止故障电流进一步扩大。快速直流开关动作时间约在 10~20 ms 之间，可起到保护晶闸管等元件而快速熔断器又不至于熔断的作用，常用于大、中容量的电力电子装置，安装在变流电路直流端，切断故障时的直流电源。快速短路器动作时间约为 2~3 ms，可在过电流时使电源变压器经快速断路器直接短路，防止电流进入电力电子装置。电子电路检测和保护可以抑制电力电子器件的过电流，反应速度快，但必须在电力电子装置被控制的元器件完好时才起作用。电力电子装置一般都同时采用几种过电流保护措施。

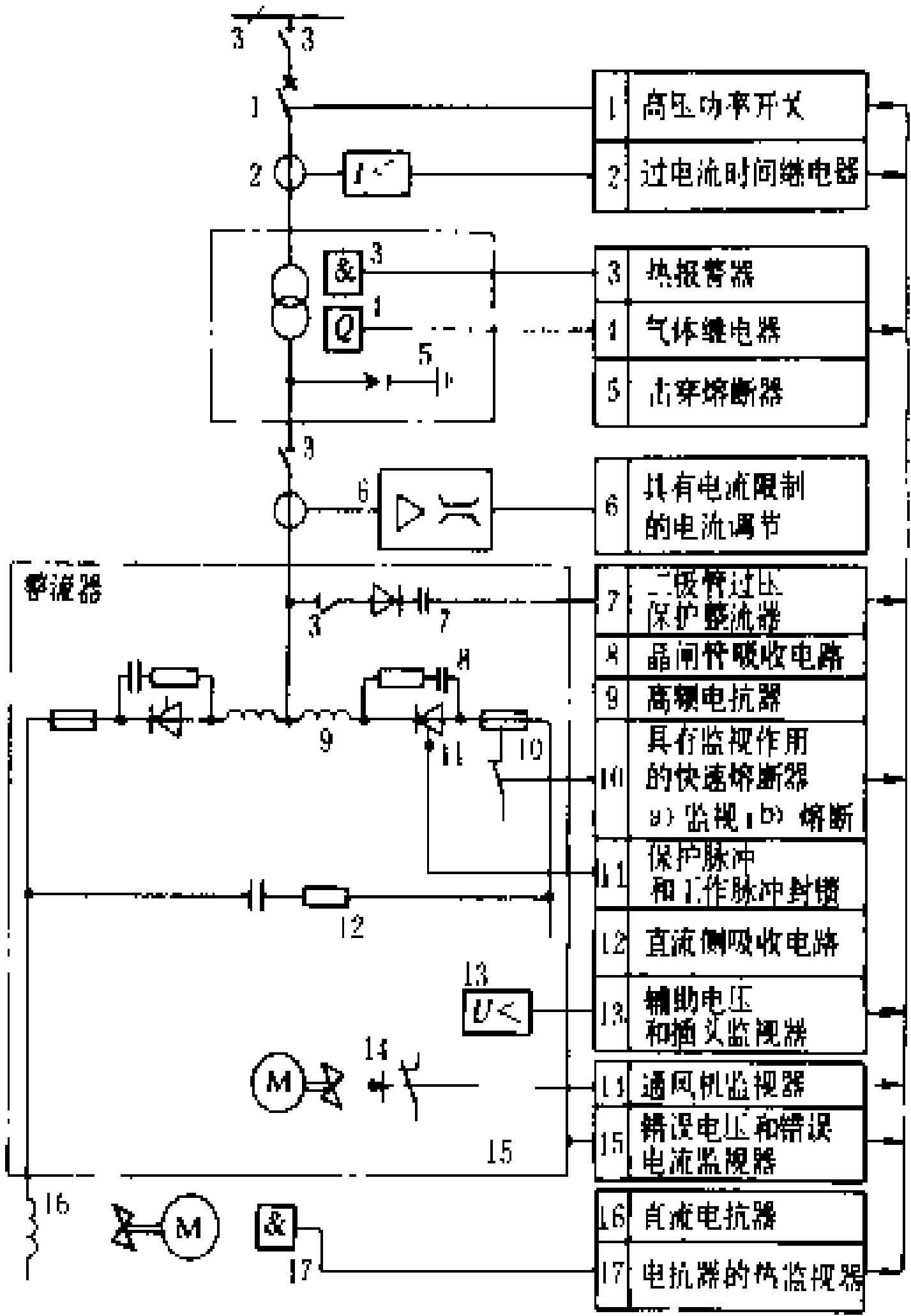


图 3 整流器装置的保护、监视方案示意图

电力电子装置的过电压保护常用的有阻容吸收电路、非线性电阻器件、电子电路检测和保护三种。阻容吸收电路又称缓冲电路，由电容和电阻串联而成，利用电容吸收尖峰过电压，利用电阻消耗过电压的能量，从而抑制电路的振荡。非线性电阻器件有接近于稳压管

的伏安特性,击穿后其特性可自动恢复,常用的有硒堆过电压抑制器和压敏电阻两种。电子电路检测和保护可根据检测到的过电压信号利用电压负反馈防止电压上升;通过控制电路将可能出现过电压的器件置于导通状态;使附加的过电压泄放电路动作。

(2) 信息处理装置的保护。对信息处理装置的保护主要包括电控设备的自诊断系统和电控设备对防止外界磁场和电场耦合扰动的抑制措施。(见电控设备故障自诊断及电子控制设备的电磁兼容性)。

(3) 系统的检测和监视。对电力拖动系统的正常运行和非正常运行及故障的监视及对故障所采取的保护都需要对系统中重要的电量和非电量加以检测。电量包括电压、电流等;非电量包括转速、角度、位移或张力等。如检测系统应用微处理器和微型计算机,能实现多点采样,并且具有对数据进行运算、分析、判断的能力,可大大增强检测系统的功能。监视系统包括正常运行、非正常运行和故障的显示。正常运行显示表明电力拖动的正常运行的状态和能力;非正常运行显示应能警告运行人员及时排除非正常现象,甚至切断系统的电源;故障显示提供故障时的信息(故障性质、故障部位及保护动作情况等)。重要的运行显示和故障显示应该记录下来,以便因故障停止运行后通过保留下来的显示进行分析,便于排除故障和维修。常用的运行和故障显示,可采用各种指示仪表和指示灯、发光二极管、蜂鸣器等声光元件来实现,亦可采用记录仪表、数字显示装置、存储器、打印机、屏幕显示装置等来实现。

发展趋势 电力拖动控制技术包括许多不同的领域、学科,例如电机、功率半导体器件、变流器电路、控制理论、信息处理及微电子学等。这些领域和技术的发展直接推动着电力拖动系统的发展,使得电力拖动控制系统朝着智能化、耐用化的方向迈进。

(1) 电机。未来的笼型感应电动机将成为主要驱动电机;随着大功率交流-交流变频器的应用,绕线转子感应电动机将会进一步得到应用;同时将研究出适应于变频技术的新型结构感应电动机。采用永磁同步机的无刷直流电动机将会在永磁材料成本降低且广泛采用改进型低成本的绝对位置编码器时得到广泛应用。对开关磁阻电动机的研究工作将继续进行。新一代智能化机电一体化的电动机也将得到开发。总之,正努力开发出更适用于电力拖动的新颖高性能电动机。

(2) 功率半导体器件。将来晶闸管将主要用于自然换流或线路换流变流器中。自然换流器件将用于脉冲宽度调制(PWM)型变流器中;可关断晶闸管(GTO)将用于中-大功率、低-中频装置中;双结晶体

管(BJT)用于低-中功率和频率装置中;金属-氧化物-半导体场效应晶体管(MOSFET)用于低功率、高频装置中。新近出现的一些混合器件,如绝缘栅双极型晶体管(IGBT)和MOS控制的晶闸管(MCT),对下一代变流器技术将产生很大影响。功率半导体器件正向着模块化、快速化、光控化、高压大电流化、自关断化、高可靠性化方向发展。

(3) 变流器电路。变流器在传动系统中是一个比较昂贵的部件,这主要是由于离散功率器件的成本高,且封装复杂。将来,功率集成电路(PIC)技术的出现,功率电路、信号电子装置、传感器可以结合在一起,从而减小装置的体积。PWM技术在变流器和逆变器中用来改进性能,用微机来获得PWM模式,可以使逆变器开关损耗及机械谐波损耗最小。PWMGTO电流源逆变器将与通用型PWM电压源逆变器抗衡。在高性能传动装置中,将采用电流控制的PWM电压源逆变器。

(4) 控制理论。传统的线性调节器,如PI、PID调节器,对装置的参数变化和负载扰动很敏感,已不能再满足高性能传动应用的严格要求。近些年来,采用微控制器进行高速信号处理促进了在传动系统中现代控制技术的应用。自调谐自适应控制技术已应用于直流传动中,调谐控制器参数能适应设备参数的变化以保证理想的闭环性能。模型参考自适应控制(MRAC)也正用于电力拖动中,它可强迫输出响应跟踪参考模型的响应(具有固定设备参数的理想化模型),而不考虑设备参数变化,调整控制器参数以给出理想的闭环性能。近年采用滑模控制(SLMC)的变结构控制,可以提供参数不敏感特性及规定的动态误差,并且执行起来较简单。对滑模控制的进一步研究,以减小转矩振动和固有的稳态误差以及使控制器系数最佳。在基于滑模的速度控制系统中,观测器可以取代传感器。除此之外,微分几何理论的非线性解耦控制技术、非线性观测技术、专家系统、数字网络等新技术都将更广泛地得到应用,以实现高性能、高精度的电力拖动控制系统。

(5) 信息处理及微电子学。微处理器、微控制器和微型计算机使先进且复杂的控制技术得以实现。32位微处理器可以进行高分辨率信号处理,并且将用于采用现代控制理论的高性能传动装置中。数字信号处理器朝着高速、高功能化的方向发展,并开发出更适用于电力拖动控制系统的通用型数字信号处理器。将来,在高性能电力拖动中可能采用人工智能或专家系统,专家系统在实时控制应用中具有很大应用潜力。采用人工智能的系统可在复杂系统中进行诊断和修正故障并取代人工干预。

(施传立)



dianliu tauru shendu

电 流 透 入 深 度 (current penetration depth)

表征感应电流趋肤效应程度的一个物理量。处于交变电磁场中的导体内部会产生感应电流。如磁场方向与导体表面平行,则该感应电流有趋肤效应,即导体表面的电流密度最大,离表面愈远,电流密度愈小。

在理论上,电流透入深度定义为:正弦波形平面电磁波垂直地入射到无限厚均质平面导体中时,平面导体内电流密度(有效值)等于其表面电流密度 $\frac{1}{e} \approx 36.8\%$ (e 为自然对数的底) 处离表面的距离。

根据麦克斯韦方程组可推导出电流透入深度 Δ (cm) 为

$$\Delta = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}$$

式中 ρ 为导体的电阻率, Ω · cm; μ 为导体的相对磁导率; f 为交变电磁场的频率, Hz。

推导中假定:平面导体的厚度和长、宽为无限大;导体是均质的,即其电阻率和相对磁导率各处都相同。

还可推导得出:在电流透入深度范围内,导体从电磁场吸收的功率为导体吸收的总功率的 86.5% $\left(=1-\frac{1}{e^2}\right)$ 。

几种常用材料的电流透入深度见表。

在感应加热的理论和实践中,电流透入深度是一个重要的物理量,可由此了解被加热物料在不同频率和温度下(磁性材料在超过某一温度——居里点以后失去磁性,其相对磁导率大为减小)其内部电流分布情况,从而了解电流加热层的厚度。上式虽是按无限厚导体导出的,但在实践中,当材料厚度超过 2Δ 时,实际情况已与理论假定接近。

几种常用材料的电流透入深度 (cm)

材 料		频 率 (Hz)					
		50	500	1000	3000	10000	400000
碳 钢	室温	0.32	0.11	0.08	0.04	0.02	0.00
	1200℃ 时	6.60	2.30	1.62	0.95	0.52	0.08
	熔化时	9.10	3.18	2.25	1.30	0.71	0.10
1Cr18Ni9 不 锈 钢	室温	5.70	1.97	1.39	0.80	0.44	0.07
	1200℃ 时	7.50	2.60	1.84	1.06	0.58	0.09
铜	室温	0.95	0.33	0.23	0.02	0.07	0.01
	850℃ 时	1.93	0.66	0.47	0.27	0.15	0.02
铝	室温	1.07	0.37	0.26	0.14	0.08	0.01
	500℃ 时	1.93	0.66	0.47	0.27	0.15	0.02

(汤景明 蒋聪吉)

dianlu

电 炉 (electric furnace) 用电加热实现预

期工艺目的,如物料的冶炼、熔化、加热、热处理、烧结、烘干等的电热设备。它是由电热装置和与其工艺及操作系统配套的其他机械装置、电气装置等组成。

电热装置是电炉的主体,它把电能转变成热能并加热物料,或在其内进一步完成其他预定的工艺过程。多数电热装置具有由耐火材料和绝热材料筑成的封闭或部分封闭的工作空间(称为加热室、炉膛、坩埚等)。对电热装置不具有这样工作空间的电炉习惯上只称电热设备,小型的叫加热器。

电炉是在 19 世纪 70 年代,有了直流发电机以后逐渐发展起来的。一些常用的电炉,如一般电阻炉、炼钢电弧炉、埋弧炉、有心感应熔炼炉等。在 19 世纪八九十年代就已有雏形。到了 20 世纪二三十年代,由于镍铬合金、三极电子管等的问世,特别是电力工业的发展,上述电炉都在工业中得到推广,并且还发展了中、高频感应熔炼炉、近红外炉、简单的控制气氛电阻炉等。四五十年代,随着冶金、机械、航空、原子能等工业的发展,炼钢电弧炉开始向大型化(容量在 50 t 以上)方向发展,感应透热设备、感应淬火设备得到推广应用,并出现了工频无心感应熔炼炉,真空电弧炉、电子束熔炼炉、等离子熔炼炉、微波炉、电渣重熔炉等许多种新设备。在六七十年代中,炼钢电弧炉开始向高功率、超高功率方向发展,同时发展了用于钢液炉外精炼的钢包精炼炉,控制气氛电阻炉和真空电阻炉得到进一步提高和普及;由于电力半导体器件的问世,中、高频感应炉得到更大的推广;远红外炉、激光电热设备等得到了实际应用。80 年代,直流炼钢电弧炉开始应用到工业上,其他各类电炉在品种、结构、性能上不断发展提高,重要设备多采用计算机过程控制。电炉正朝着扩大应用领域、方便使用、降低能耗、减少环境污染的方向迅速发展。

中国于 20 世纪 50 年代开始生产电炉,早期是小型电阻炉、中频感应炉、炼钢电弧炉等。60 年代发展了控制气氛电阻炉和真空电阻炉、真空电弧炉等。七八十年代炼钢电弧炉单台容量发展到 75 t,并制成连续式气体渗碳炉、离子氮化炉、真空淬火炉、微波炉等。

(肖电华 蒋聪吉)

dianlu bianpin dianyuan

电 炉 变 频 电 源 (frequency converter for electric furnace)

将公用电网的频率和电压变换为电炉所需频率和电压的成套电源装置。电炉变频电源与电网连接,将从电网取得的电能,供给感应

炉、高频电场加热设备、电炉电磁搅拌装置,以及特殊需要的埋弧炉和电渣重熔炉。

公用电网的频率称为工频,在中国和多数国家为 50 Hz,美国、日本等少数国家和地区为 60 Hz,低于工频的称低频,在中国和欧美许多国家,对于高于工频但不超过 10000 Hz 的频率习惯上称中频,超过 10000 Hz 的则称高频。另外,30~70 kHz 的频率有时叫超音

频。在日本,凡超过工频的通称为高频。
用于电炉的中频额定频率系列和电压系列在中国分别为 150, 400, 1000, 2500, 4000, 8000, 10000 Hz; 375, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 3000 V。

电炉变频电源主要分为低频电源、三倍频电源、旋转变频机、晶闸管中频电源、晶体管中、高频电源、电火花高频电源、电子管高频电源等,如表所列。

电 炉 变 频 电 源 分 类 和 应 用

电源名称	频率范围	单机容量*	效率(%)	用 途
低 频 电 源	<50(或 60)Hz	~10 MW	0.85~0.92	埋弧炉,电渣重熔炉,电磁搅拌装置
三 倍 频 电 源	150(或 180) Hz	~2000 kW	0.7~0.8	中频感应炉(主要用于熔炼和透热)
旋 转 变 频 机	0.4~10 kHz	~2000 kW	0.7~0.89	中频感应炉(用于熔炼、透热和淬火),中频焊接设备
晶 闸 管 中、频 电 源	1~10 kHz	~6600 kW	0.8~0.92	
电力晶体管中、高频电源	1~50 kHz	~400 kW	0.85~0.95	中、高频感应炉(主要用于淬火),中频焊接设备
电火花高频电源	50~400 kHz	~600 kW	0.85~0.95	高频感应炉(主要用于淬火),高频焊接设备
电子管高频电源	10 kHz~70 MHz	~2000 kW	0.6~0.7	高频感应炉(主要用于淬火),高频焊接设备, 1 MHz 以上者用于介质加热(见高频电场加热)

* 国际上达到的最大容量。

低频电源 过去有用低频交流发电机的,现在多用晶闸管变频电源。

三倍频电源 其主体是三倍频器。三倍频电源是一种利用铁芯饱和产生并分出三倍频电流的电器,有电抗器式和变压器式两种(见图 1),所接的电容器用来补偿功率因数,电抗器式三倍频电源的补偿电容器还通过三倍频电流。

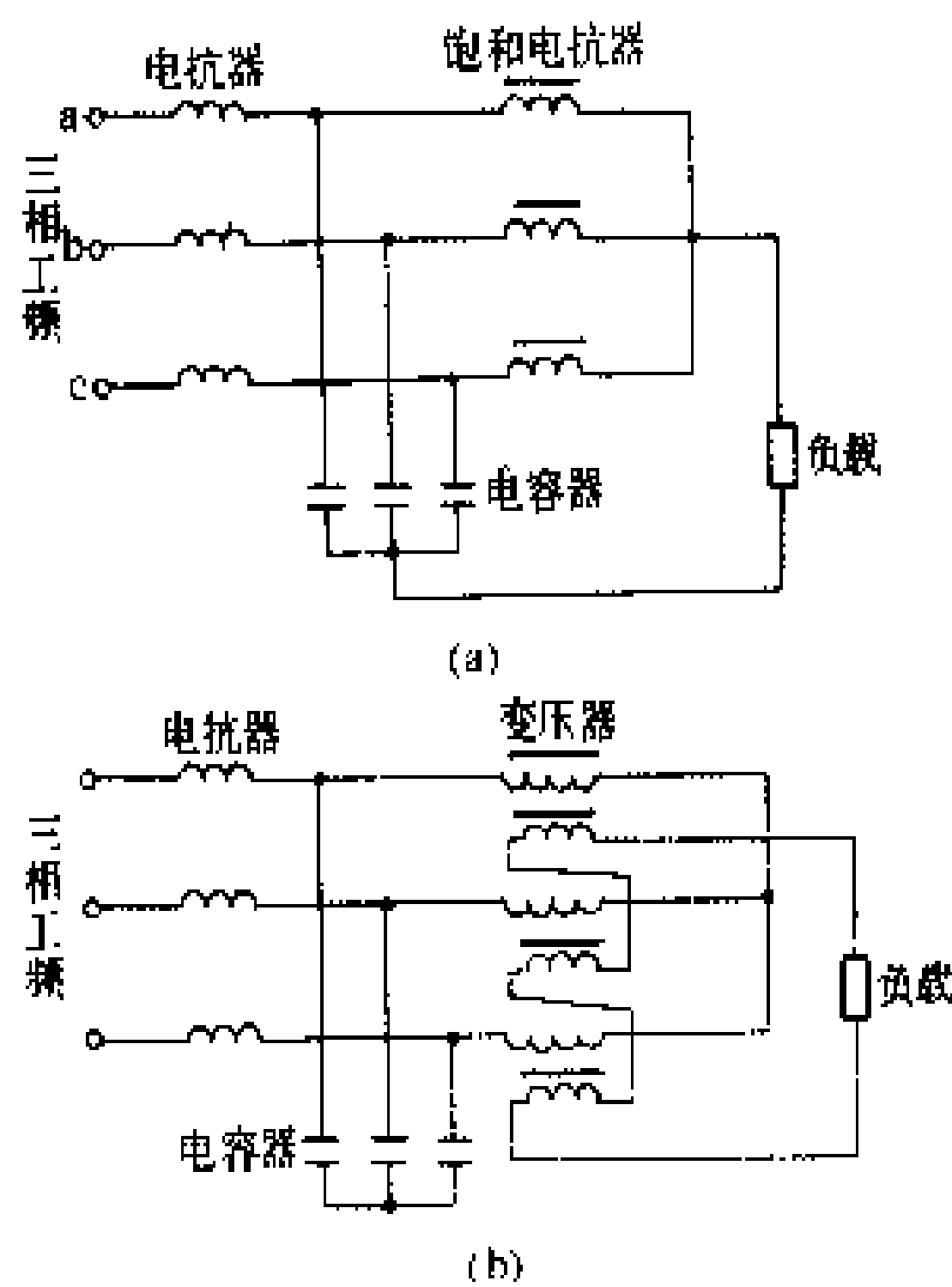


图 1 三倍频中频电源
(a) 电抗器式; (b) 变压器式

这种电源是加拿大 P. 伯林格(P. Biriger)于 1958 年发明的。与旋转变频机比,无转动部分,维护方便,但功率因数低、效率低,因此只在中频感应加热方面得

到有限应用。根据类似原理通过饱和铁芯的不同组合可以制成 5、7、9 倍等倍频电源,但效率更低,未获实际应用。

旋转变频机 由笼型感应电动机和中频发电机组成,通常两者同轴,以立式为多,电动机在下,发电机在上。发电机主要有两种型式:一种是旋转磁极式,与同步发电机类似,转子上设有励磁绕组和磁极,定子上设有中频绕组;另一种是感应子式,直流励磁绕组和中频绕组都设在定子上,转子表面沿圆周方向形同齿轮,但没有绕组。发电机转子旋转时,利用中频绕组磁路磁阻的变化而获得中频电压。后者在结构上容易获得较高输出频率,机械强度好,适宜于高速旋转,用得较普遍。

旋转变频机早在 20 世纪 30 年代就用到工业上。中国从 50 年代开始生产,60 年代以后逐渐被晶闸管中频电源代替,只在要求输出频率固定有过载要求时(如对许多随意运行的并联负载供电)或对电源运行可靠性有高要求时才使用。

晶闸管中频电源 利用快速晶闸管关断时间短(<10~60 μs)的特性而制成的变频电源。该电源的主电路接线方式很多,图 2 是最常用的一种。与旋转变频机相比,该中频电源有重量轻、体积小、效率高、输出频率能自动跟踪负载的变化(负载变化时,输出频率自动变化,不需要改变变压器和电容器的抽头连接)、启动停止快、噪声小、维修和安装方便等许多优点,因此自 60 年代问世以来已在较大范围内代替了旋转变频

机，并促进了中频感应加热的推广。

晶体管中、高频电源 一些晶体管的关断时间比快速晶闸管的更短，其中输出功率足够大的可用于组装成电加热用中、高频电源。现在已实际应用的有电力晶体管（关断时间为 $3\sim 15\ \mu\text{s}$ ）和静电感应晶体管（SIT，关断时间约 $0.35\ \mu\text{s}$ ）。

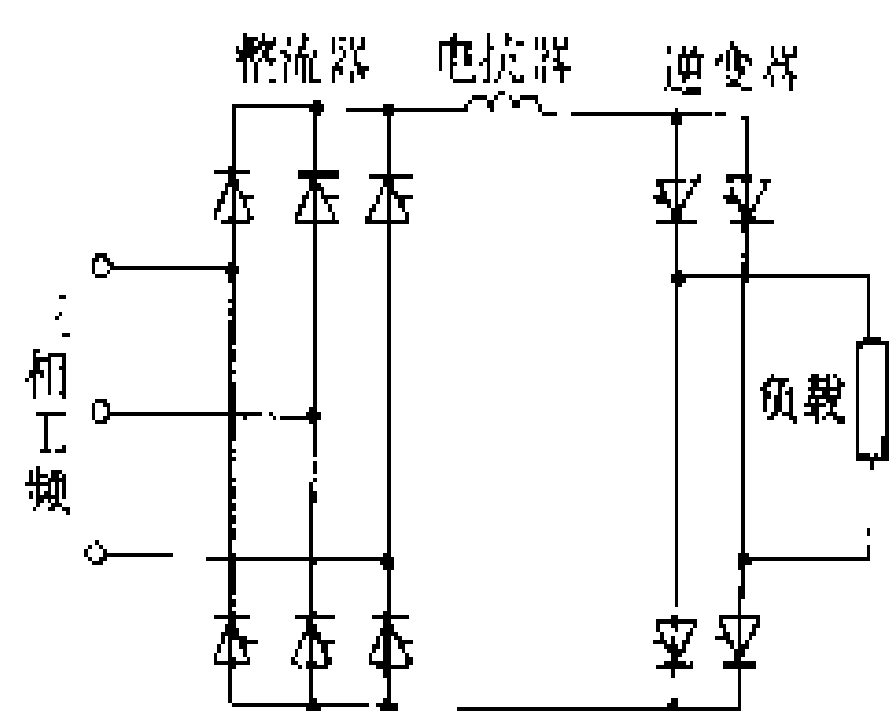


图2 晶闸管中频电源的主电路

电力晶体管中、高频电源自70年代问世以来，扩大了 $10\sim 50\ \text{kHz}$ 感应加热的应用。静电感应晶体管是70年代发明的，70年代中期用于感应加热用高频电源。在日本，这种电源已得到相当大的推广，在中小容量感应炉上有替代电子管高频电源的趋势。这种电源中国尚在开发中。

晶体管中、高频电源也能自动跟踪负载的变化。为便于调节输出功率，主电路系采用负载感应器和补偿电容器串联的型式（图3）。

电火花高频电源 利用电容器通过火花间隙放电产生的衰减振荡而获得高频输出的一种电源。如图4所示，在工频电压的正半周内，当电压从零升高的过程中，电容器充电，当电压瞬时值达到火花间隙的放电电压时，电容器即通过火花间隙放电，并在RLC回路中引起衰减振荡，产生高频输出。在工频电压的负半周内，重复同样的过程。这种电源的输出频率为 $20\sim 100\ \text{kHz}$ ，输出功率可达约 $1\ \text{kW}$ 。这种电源结构简单，早在20世纪初就已问世，一度曾大量使用。

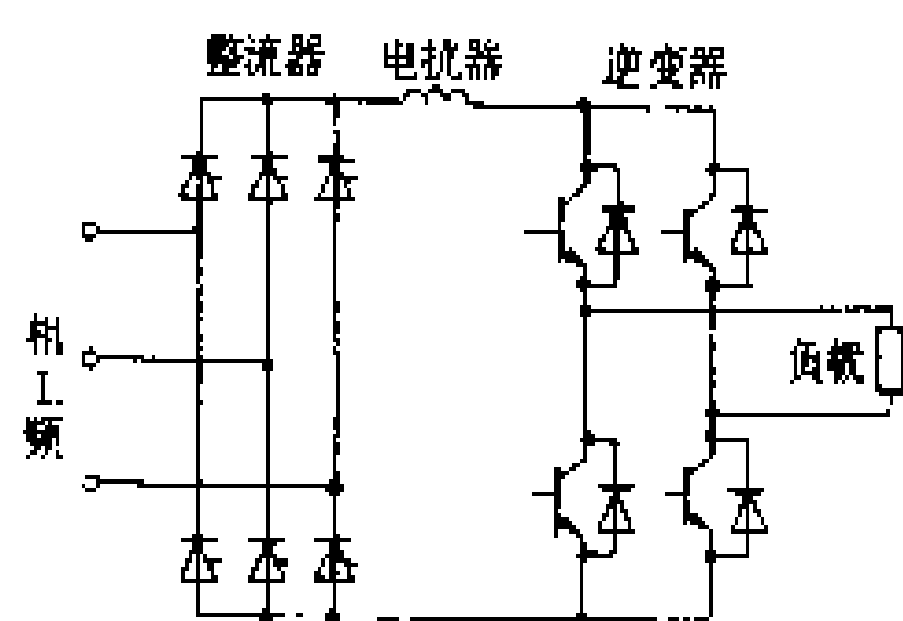


图3 晶体管中、高频电源的主电路

电子管高频电源 以电子管振荡器为主制成的高频电源。电子管振荡器的激励方式有自激和他激两种。用于感应炉的高频电源，其输出频率在 $10\sim 500\ \text{kHz}$ 范围内，实际使用的多为 $100\sim 450$

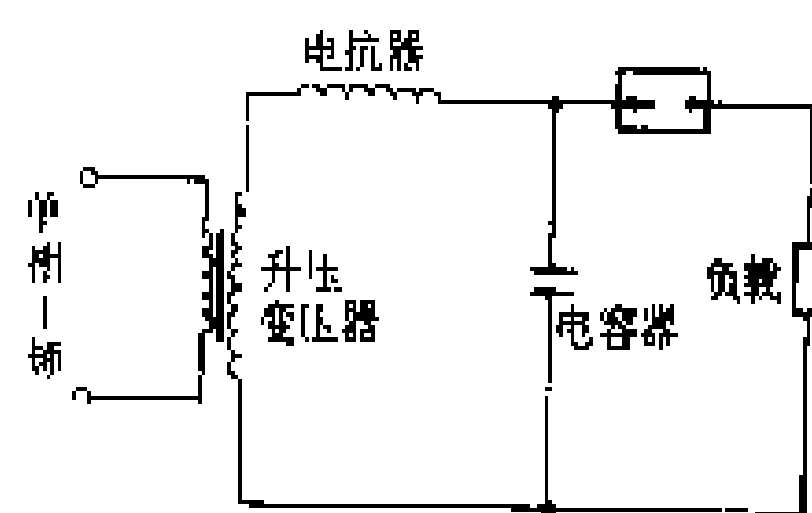


图4 电火花高频电源的主电路

kHz ，一般为自激式，即通过感应器和电容器组成的振荡电路的反馈进行激励。反馈线路有许多种，图5所示的是其中的一种。他激式用于频率较低时的某些特殊情况。用于介质加热的高频电源，其输出频率在 $1\sim 70\ \text{MHz}$ 范围内，但为避免对无线电通信的干扰，要优先选用 6.780 ± 0.015 、 13.5 ± 0.007 、 $27.120\pm 0.163\ \text{MHz}$ 和 $40.680\pm 0.020\ \text{MHz}$ 四个频段。振荡器用他激式。这种电源早在20世纪30年代就已用到工业上，但效率低、冷却要求高，其中容量较小、频率低于 $400\ \text{kHz}$ 者有被晶体管中、高频电源替代的趋势。

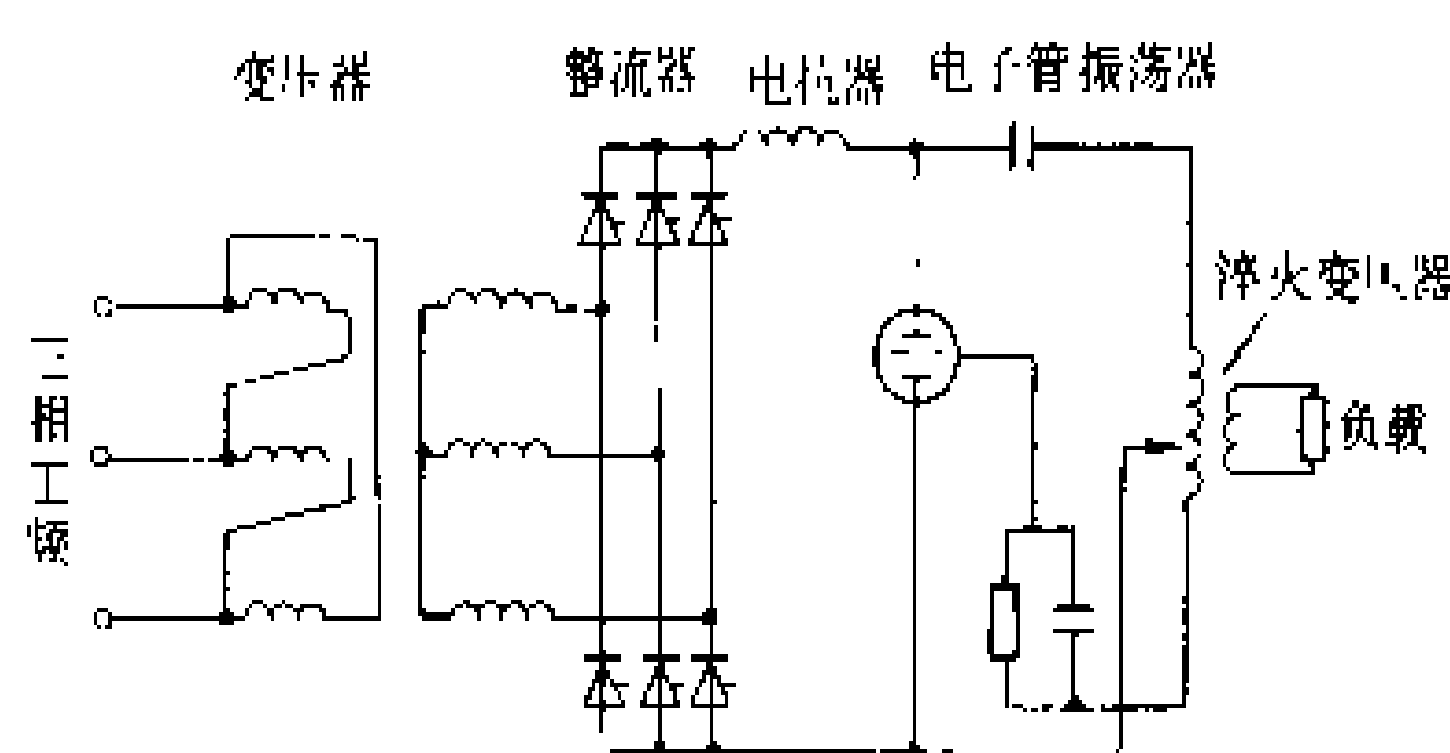


图5 电子管高频电源的主电路

（蒋聪吉）

dianlu bianyaoqi

电炉变压器 (electric furnace transformer)

将公用电网的电压变换到电炉所需电压的变压器。电炉变压器是电炉的主要配套装置，电炉通过它接到供电网上，从电网取得电能。

除少数用电热合金作电热元件的电阻炉外，多数电炉的工作电压低于为其供电的电压，而且在电炉运行的不同时期需要用调节电压的办法来调节输入功率，所以电炉变压器是一种为满足电炉运行要求而特殊设计的降压调压变压器。

分类和特点 表中给出了电炉变压器的分类及其特点。

电弧炉变压器是电炉变压器中最主要的一类，多为油浸式，大型变压器均采用强迫油循环水冷或风冷。

结构 电弧炉变压器在结构上与电力变压器相似，因为二次电流大而且变动剧烈，所以线圈和引出线要特别强。铁芯大多数为心式，少数为壳式。壳式电弧炉变压器的阻抗电压可以做到很小，约 $3\%\sim 4\%$ ，而心式电炉变压器的则很难做到小于 $6\%\sim 7\%$ 。心式电弧炉变压器大多数采用同心式绕组。与电力变压器相反，它的高压绕组靠近铁芯，低压绕组套在高压绕组外。壳式变压器采用盘形绕组，每个高压和低压绕组都做成一个盘形，一层隔一层交替地串在铁芯上。大型心式电弧炉变压器有时也采用盘形绕组。

三相电弧炉变压器的一次绕组有三角形和星形两

电炉变压器分类及其特点

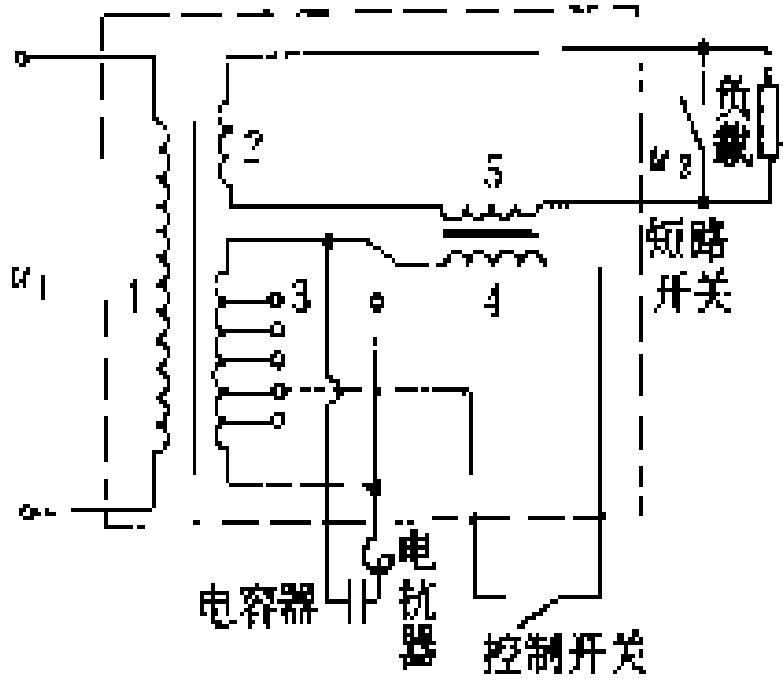
分 类		特 点
电弧炉变压器	三相炼钢电弧炉变压器	①容量约在 0.4~80 MV·A 范围内;②容许在一定的时间内过载 20%;③最高二次电压为 200~750 V,最低二次电压为最高二次电压的 1/3~1/2;④调压级数:小容量有 4 级,中、大容量者可达 20 级或更多;⑤二次额定电流数千安至数万安,运行时有短路、断路情况发生,电流波动剧烈,短路电流一般限定在额定电流的 3 倍以下;⑥某些小容量变压器在电炉熔化期需要增加电抗,或在一次侧线路上串联电抗器,用以限制短路电流和稳定电弧
	埋弧炉变压器	①多数为三相,少数用三台单相变压器组合为三相;②容量约在 3~100 MV·A 范围内;③最高二次电压比同容量的炼钢电弧炉变压器低;④调压级数:小容量者 4~6 级,大容量者可近 30 级;⑤二次额定电流比同容量的炼钢电弧炉变压器大,但运行时短路、断路情况很少,负载平稳
	钢包精炼炉变压器	①容量不超过 20 MV·A;②最高二次电压比同容量的炼钢电弧炉变压器的低;③调压级数为 4~6 级;④二次额定电流比同容量的炼钢电弧炉变压器大,但运行时不常发生短路,短路时电流较小
电阻炉变压器	间接电阻炉用变压器 (主要用于碳化硅、二硅化钼、石墨、钨、钼等电热元件的电阻炉)	①容量约在 1~1000 kV·A 范围内;②多数为干式,由 380 V 低压配电网供电,个别容量较大的变压器由 6~10 kV 配电网供电,并做成油浸式的;③调压级数为 5~10 级,或另配磁性调压器无级调压;④负载平稳
	电极盐熔炉变压器 (见电热浴炉)	①容量一般不超过 100 kV·A,干式;②二次电压 5.5~17.5 V (用于插入式电极盐熔炉)、11~35 V (用于埋入式电极盐熔炉),分 5~8 级调压;③负载平稳
	电渣重熔炉变压器	①容量约在 0.5~5 MV·A 范围内,多数为单相油浸式;②最高二次电压随变压器容量变化,约为 40~130 V;③调压级数为 5~20 级;④负载平稳
	石墨化电炉和碳化硅电炉变压器 (见直接电阻加热设备)	①容量约在 2~25 MV·A,单相,油浸式;②一台变压器可轮流为几台电炉供电,提高设备利用率;③最高二次电压约 120~300 V,调压级数在 10 级以上;④负载平稳
工频感应炉变压器		①容量约在 0.3~6 MV·A;②最高二次电压约 200~3000 V,调压级数 5~10 级;③负载平稳;④有两种接线方式:一种是三相变压器,其二次侧的一相为电炉供电,其余两相分别接平衡电抗器和平衡电容器,使一次侧三相平衡;另一种是 T 型接线,以其两相输出为电炉供电;⑤多为油浸式

种连接方式,而二次绕组都接成三角形,以获得较大的输出电流,三角形连接点的位置根据短网的设计要求,可以在靠近电极处,也可以在变压器的油箱内。输出端子从油箱盖上或从油箱侧壁引出。

- 调压方式 有以下三种:
- (1) 在高压绕组上抽出适当的分接头调压,这种调压方式调压范围较小;
 - (2) 自耦调压器调压,有一台单独的自耦调压器,以满足大范围多级数的调压;
 - (3) 第三绕组调压 (如图所示)。它由装于同一油箱中的两个器身组成。其一装有与电网相连的绕组 1、输出的低压绕组 2 以及带抽头的第三绕组 3。其二装有高、低压绕组 4 和 5,分别与绕组 3 和 2 串联。通过绕组 3 的分接头变换,使绕组 4 和 5 的端电压以及输出电压 u_2 得到改变。

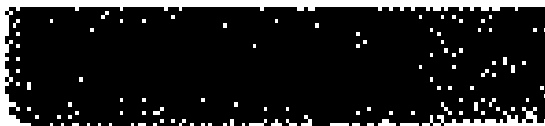
这种调压方式的特点是:①输出电压 u_2 成等差级

- 数变化;②第三绕组以及有载分接开关的电压电流值可以人为地选择;③运行时第三绕组中的电流值与负载电流大小成正比,可以通过它来监视、控制负载电流;④第三绕组端子可外接补偿电容器,以提高功率因数;⑤可以实现三次开断,避免因装料、出料及故障时



第三绕组调压接线原理图

变压器与电网连接的高压开关的频繁操作。当电炉要停电时,先打开控制开关,此时电炉尚有电流通过,然后合上变压器与电炉间的短路开关,此时负载电路已无电流通过,电炉可以进行装料、出料以及排除故障等工作,而接于变压器一侧的高压开关仅仅起保护变压器的作用。



恒功率输出 在一般情况下,电弧炉变压器的额定容量指在最高二次电压下的容量,某些电弧炉变压器则是以低于最高二次电压的某一电压为额定电压来标定它的容量。当变压器高于额定电压运行时应相应地减少工作电流,保持变压器不过载。这种输出特性对炼钢电弧炉的操作是有利的。譬如,在熔化初期使用较高电压和较小电流有利于冷炉料穿井熔化,而在熔化完毕,为了减少电弧对炉衬的侵蚀需要降低电压,这时变压器可在额定电压附近运行而不降低输出功率。

(颜竹芳 蒋聪吉)

diannengbiao

电能表 (kilo watt - hour meter) 计量某一段时间内电能累积值的仪表,又称电度表。电能表是记录电能量的专用计量器具。它随着供电企业的出现而诞生,也随着供电企业的发展而不断进步,是一种社会拥有量最大的计量器具之一,主要用于电力的费用结算和电力生产中各种电力技术经济指标的考核。(参见彩图插页第6页20图)

分类 一般按电能表的电流、用途、工作原理、准确度、计量对象、相数、接入方式、付款方式进行分类。

- (1) 按电流类别分为:直流式和交流式;
- (2) 按用途分为:普通电能表和特种电能表(包括最大需量电能表、定量电能表、复费率电能表、多功能电能表和标准电能表等);
- (3) 按准确度等级分为:普通电能表(分为3.0, 2.0, 1.0, 0.5, 0.2级),标准电能表(分为0.5, 0.2, 0.1, 0.05, 0.02, 0.01级);
- (4) 按工作原理分为:感应式电能表和电子式电能表;
- (5) 按计量对象分为:有功电能表和无功电能表;
- (6) 按相数分为:单相电能表、三相三线电能表和三相四线电能表;
- (7) 按接入方式分为:直接式和间接式(即带互感器接入式);
- (8) 按付款方式分为:普通电能表和定量电能表(投币电能表、磁卡电能表、电卡电能表)。

铭牌 每只电能表都有一块铭牌。通常铭牌上标注有名称、型号、准确度等级、标定电流和额定最大电流、额定电压、电能表常数、电能计量单位、频率、生产厂家等项。中国生产的电能表铭牌上各项标志的含义为:

- (1) 名称。标明电能表的适用特征,如单相电能表、三相三线有功电能表、三相四线有功电能表、复费率电能表等。
- (2) 型号。中国电能表型号的表示方法规定如下:

类别代号	组别代号	设计序号
D—电能表	D—单相; S—三相三线有功; T—三相四线有功; X—无功; B—标准; Z—最大需量; J—直流	阿拉伯数字

(3) 准确度等级。用置于圆圈内的数字来表示,如①.0表示该表准确度等级为1.0级,即相对误差在1%以内。

(4) 电能计量单位。千瓦时为有功电能表计量单位,符号为kW·h;千乏时为无功电能表计量单位,符号为kvar·h。

(5) 标定电流和额定最大电流。如铭牌上的5(20)A,表示标定电流为5A,额定最大电流为20A。

(6) 额定电压。正常工作电压值。三相电能表额定电压有三种标注方法:3×380V,表示三相三线,额定线电压为380V;3×380/220V,表示三相四线,额定线电压为380V,额定相电压为220V;3×100V,表示经电压互感器接入的电能表,电压互感器的额定电压为100V。

(7) 电能表常数。它指电能表计度器的指示数和圆盘转数之间的比例数,如K=1500r/kW·h,即圆盘转1500r计度器将记录1kW·h电量。

(8) 额定频率。铭牌上标注为50Hz,即表的正常工作频率为50Hz。

感应式电能表 感应式电能表的种类型号虽很多,但基本结构相似,均由测量机构和辅助部件两大部分组成。测量机构是

电能表实现电能测量的核心部分,包括电磁驱动元件、转动元件、制动元件、轴承和计度器。单相电能表的测量机构见图1。电磁驱动元件包括电压元件和电流元件。电压元件由铁芯和电压线圈组成;电流元件由铁芯和电流线圈组成。转动元件由转盘(也称圆盘)和转轴组成。制动元件由永久磁铁和调整装置组成。轴承是电能表的主要元件,轴承质量的好坏,对电能表的

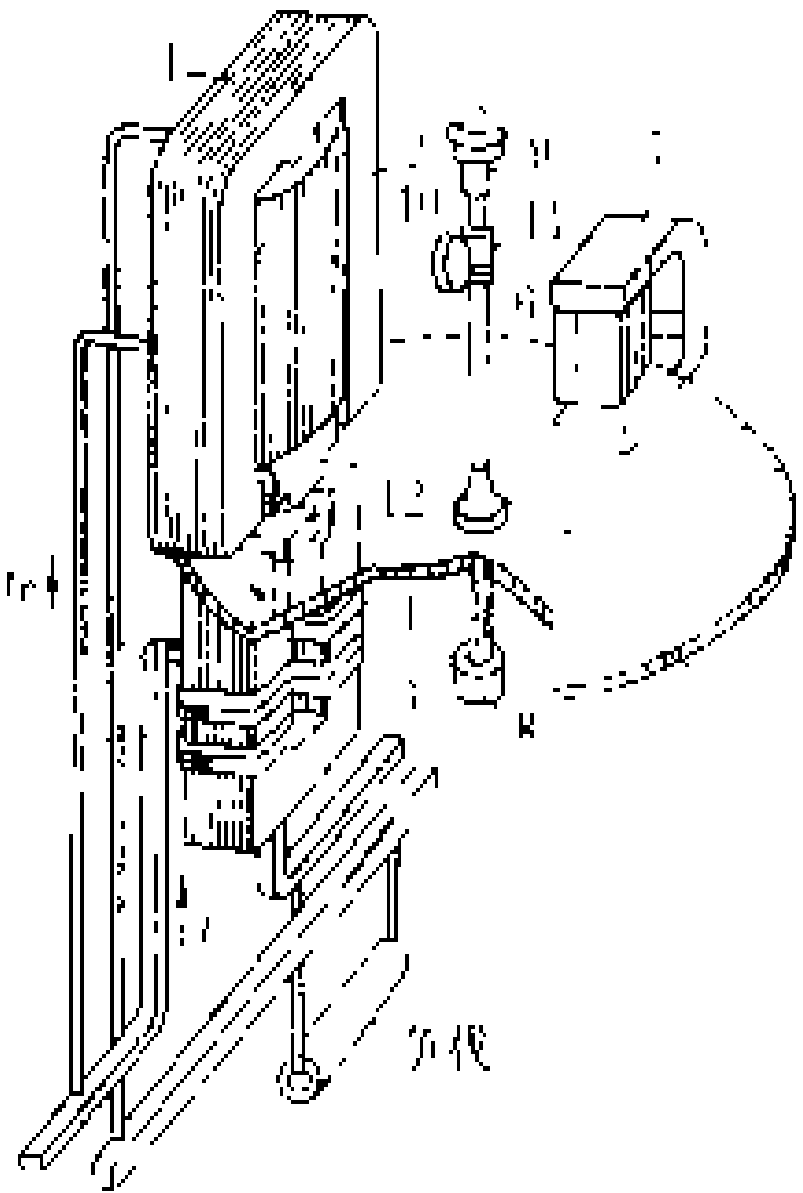


图1 单相电能表的测量机构简图
1—电压铁芯;2—电压线圈;3—电流铁芯;4—电流线圈;5—转盘;6—转轴;7—制动元件;8—下轴承;9—上轴承;10—蜗轮;11—蜗杆;12—回磁板



准确度及使用寿命有重要影响。计度器是供计算电能累积值用的,是电能表的指示部分。辅助部件:包括基架、底座、表盖、端钮盒和铭牌。

感应式电能表的基本工作原理为驱动元件的电压元件和电流元件将交变电压和电流转变为穿过转盘的交变磁通,该磁通与其在转盘中感应的电流相互作用,产生驱动力矩,使转盘转动。而制动元件产生的制动力矩,使转盘的转动速度与被测电路的功率成正比,把转动的圈数传给计度器,累计成电能量数。

三相感应式电能表是由单相感应式电能表发展形成的。其内部各个组成部件与单相感应式电能表基本相似,区别在于每只三相感应式电能表有两组或三组电磁驱动元件,它们产生的电磁驱动力矩共同作用在一个转动元件上,并由一个计度器指示三相电路消耗的总电能量。

电子式电能表 结构与感应式电能表相似,由测量机构和辅助部件两大部分组成。测量机构以电子电路为主构成,它的测量元件是由 ui 乘法器、 U/f 转换器和计数器构成;辅助部件与感应式电能表相同。

电子式电能表的基本工作原理框图见图2。电功率 $P=ui$, 电能 $W=Pt$, 作为电子式电能表的关键部分是 ui 乘法器,采用较多的是时分割乘法器。将 u 、 i 经感应分压器和电流互感器,使被测信号转换成与之成比例的小电压和小电流,输入到时分分割乘法器中相乘,就可得到一个与功率 P 成正比的模拟电压 U ,再把 U 经 U/f 转换器转变为频率,根据频率计在 Δt 时间内的计数 N ,便可得到这一段时间内的平均功率,而对某一段时间内的电能测量,就变为对这一段时间内所转换得到的电脉冲数作累计。

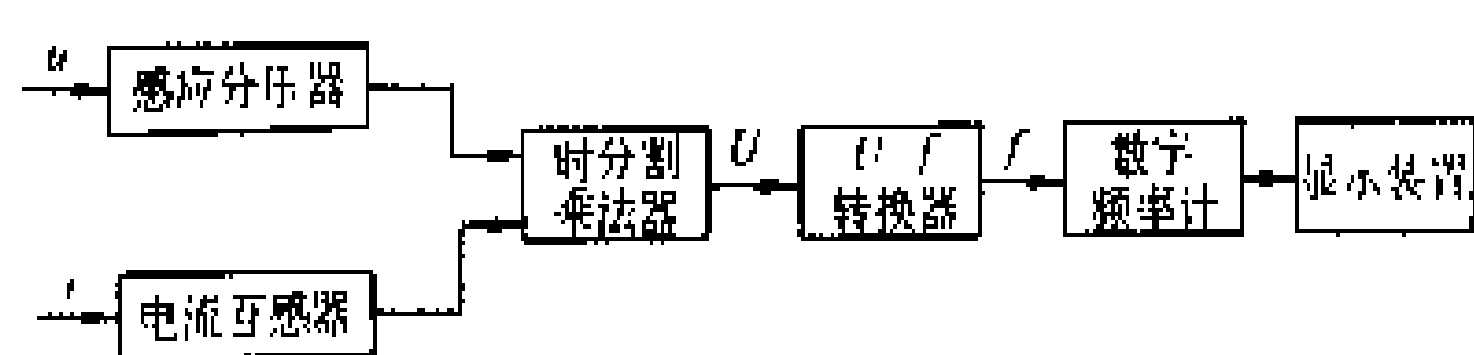


图2 电子电能表工作原理框图

电子电能表可以做成单相的,也可以做成三相的。

历史与发展 电能表在世界上的出现和发展已有100多年的历史。最早的电能表是1881年根据电解原理制成的直流电能表,重达10 kg,无准确度保证。1885年,由于交流电的发现和应用,诞生了感应式电能表。这种电能表重量轻、价格廉、结构简单、操作安全,经过长期的使用和不断的改进,形成了系列产品,性能日益完善。近年来,随着电子元件的发展和应用,又出现了电子式电能表。

中国生产电能表始于20世纪50年代,从仿制联邦德国西门子W12型单相电能表开始,经过40多年

的努力,已具备相当的水平 and 较大的生产规模,具有自行设计系列化产品的能力。

世界各国极为重视提高电能表的质量,降低制造成本,对电能表的结构、使用材料及元件等方面不断地改进,并以提高电能表的准确度、过负载能力和延长一次使用寿命作为主要指标。国外生产的普通电能表的准确度单相可达1.0级、三相可达0.2级,过载能力可达400%~800%,一次使用寿命可达15~30年。中国生产的电能表准确度单相可达1.0级、三相可达0.5级,过负载能力可达400%,一次使用寿命可达10年。

(陈 偏)

diannengbiao jianyan

电能表检验 (test of watt-hour meter)

对投运前、修理后和运行过程中的电能表进行的性能测试和调整。为了保证电能计量的准确性和可靠性,对投运前、修理后和运行了一定时期的电能表,要进行检验,以保证计量的实时准确。从广义上讲,电能表检验还包括电能表制造厂出厂前的型式试验。其检验内容除一般性检验项目外,还包括温度、频率、电压、倾斜、自热、波形、外磁场对电能表特性影响的试验,测定转矩、转速、摩擦力矩等项目(见电能计量装置)。由于这些性能,在运行中无大的变化,因而只在使用过程中为了确定某些因素引起的附加误差时,才做型式试验或对其中某些项目进行试验。

检验周期 电能表的检验周期取决于电能表以轴承为主的结构和质量,世界各国的电力企业,根据制造厂提供的保证使用寿命轮换电能表。中国运行中的电能表种类繁多,既有不同国家进口的多种牌号的电能表,也有国内不同时期生产的电能表。因此,检验周期规定为:制造厂对误差保证期已作有效承诺的电能表,按制造厂承诺的年限轮换与检验一次;对早期生产或已按规定停产淘汰的电能表,其单相表每隔5年轮换与检验一次,三相表每隔3年轮换与检验一次。为了保证大电力用户计量的实时准确性,还对一定量级的三相电能表,按照计量的量级,分别规定现场测试周期,中国规定的现场检验的周期是3~12个月。

检验内容 包括直观检查、绝缘强度试验、检查潜动、测定起动电流、测定基本误差、检查计度器传动比等。

直观检查 包括其内部检查和外部检查,主要检查标记是否损坏,部件是否移位、松动、脱落,电气接触点、焊接点和各调整装置是否已处于极限位置等,以保证电能表运行可靠。

绝缘强度试验 施以数倍额定电压以检查绝缘水平,防止漏电造成人体触电。

检查潜动 检查电能表切断负载后,圆盘在一转内能否自己停止转动,对不能在一转内停止转动的应予以调整,以防无载误计。

测定起动电流 检查起动电流是否在额定范围内,超过者予以调整,以防低载漏计。

检查计度器传动比 又称走字试验。把一批基本误差已测定合格的被试电能表与完全合格的电能表电流线圈串接、电压线圈并联,经过规定的时间,核对各被试表读数,以检查计度器传动比是否有误。

测定基本误差 检查电能表误差是否在额定范围内,对超差的电能表应进行调整。

电能表的基本误差检测有两种方法:瓦特表·秒表法和标准电能表法。

瓦特表·秒表法 这种方法需用瓦特表和秒表,简称瓦·秒法。测定电能表误差时,可采用两种方式:

(1)固定转盘转数,以测量时间的方式测定电能表基本误差。计算式为

$$\gamma = \frac{T - t}{t} \times 100\%$$

$$T = \frac{3600 \times 1000 N}{cP}$$

式中 γ 为电能表相对误差百分数,%; t 为标准计时器实测的时间, s; T 为电能表在恒定功率 P 下,按照铭牌常数计算,转盘转 N 转时所需的时间,称为标定时间(或称理论时间), s; N 为选定的转数(有规定), r; c 为电能表常数, r/(kW·h)(有功电能表)或 r/(kvar·h)(无功电能表); P 为恒定功率, W。

此法可用于检验任何类型电能表。

(2)固定测量时间而计读转盘转数的方式测定电能表基本误差。计算式为

$$\gamma = \frac{n - n_0}{n_0} \times 100\%$$

$$n_0 = \frac{cP}{3600 \times 100}$$

式中 n 为实测转数(即在固定的测量时间 t ,电能表转盘在恒定功率 P 下的实际转数), r; n_0 为标定转数(即电能表在上述条件下,按照常数计算,应转的转数), r。

此法一般只用于检验标准电能表。

标准电能表法 通过用标准电能表和被校电能表同时测量某一负载电能而比较其转数的校验方法。被校电能表的相对误差为

$$\gamma = \frac{n_0 - n}{n} \times 100\%$$

采用充电脉冲法校表时,被测电能表的相对误差为

$$\gamma = \frac{m_0 - m_c}{m_c} \times 100\%$$

式中 n_0 为算定转数或理论转数(即按照铭牌常数计算被检电能表转 N 转时,标准电能表应转的转数), r; n 为标准电能表实测转数, r; m_0 为算定脉冲数; m_c 为实测脉冲数。

对使用变比为 K_I 、 K_U 的标准电流互感器、电压互感器连接的标准电能表和使用变比为 K_L 、 K_V 的电流互感器、电压互感器连接的被校电能表有

$$n_0 = \frac{C_0 N}{CK_L K_V K_I K_U K_J}$$

式中 C_0 、 C 分别为标准电能表和被检电能表的铭牌常数, r/(kW·h)(有功电能表)或 r/(kvar·h)(无功电能表); K_J 为接线系数,当被检表与标准电能表接线方式相同时, $K_J=1$ 。

(陈 飏)

diannengbiao tiaozheng

电能表调整 (adjusting of watt-hour meter)

为了使电能表的性能达到预定的要求,在电能表检验过程中进行的调整。经过调整后,可使电能表的基本误差(见电能表误差)达到预定的负载特性曲线。电能表调整的方法有标准电能表法和同步调整法。(见电能表误差)

标准电能表法 采用标准电能表法时需进行轻载调整、防潜调整、相位角调整、满载调整、平衡调整。

轻载调整 要使电能表在轻负载下准确地工作,在电能表中设有专门的附加装置用来补偿摩擦力矩产生的误差、电流铁芯非线性产生的误差和潜动力矩引起的误差,改善轻负载范围的负载特性曲线。这种装置称为轻负载调整装置。该装置在电压铁芯磁极附近设置可移动的导线或不导磁的金属部件,以造成电压磁通对转动元件的对称轴成不对称分布,导致在空间和时间上都有差异的两部分电压磁通相互作用形成补偿力矩。该装置主要有两种类型:一种是移动金属框(片)的轻载调整装置;另一种是移动铁磁部件的轻载调整装置。

防潜调整 在没有负载情况下,电能表转盘仍在连续转动的现象叫电压潜动或潜动。虽然潜动时转速很小,但影响计量的准确性。为了消除潜动在电能表中设有防潜装置,即在转盘上钻两个对称的小孔或在转轴上放钢丝、在电压铁芯下部放钢片都可达到防潜目的。对新的和经过大修后的电能表,断开被校电能表的电流回路,先后加 80% 和 110% 额定电压,调防潜装置使转盘的转动不超过 1 r。若无论如何调整都不能消除潜动,则应重新进行轻载调整,直到消除潜动为止。

相位角调整 为了使电流工作磁通与电压工作磁



通间的相位角改变、磁通改变、电能表转速改变,使电能表转速与功率成正比,使误差满足规定的要求,需要有相位角调整装置。它能较细地调节电流工作磁通与电压工作磁通的相位角,使得相位角满足 $\varphi=90^{\circ}\pm\varphi$ 的关系。

进行相位角调整时,在被检电能表上加额定电压和标定电流,复验 $\cos\varphi=1$ 时被检电能表的误差,然后在 $\cos\varphi=0.5$ 的感性负载下调整相位角。为此,在感性区间转动移相器,使监视用的瓦特表的示值等于原有偏转格数($\cos\varphi=1$ 时)的一半,然后调相位角调整装置,将其误差调到等于或略小于满载调整时所调定的误差。

满载调整 满载调整装置是在额定电压、额定频率、标定电流和 $\cos\varphi=1$ 或 $\sin\varphi=1$ 的条件下,调整电能表转动元件转速的机构。该装置实际上是靠调整制动磁铁来改变制动力矩,使电能表的负载特性曲线上下平行移动。

平衡调整 三相电能表除有单相电能表的那些调整装置外,各组驱动元件还配有平衡调整装置。该装置将各组驱动元件在相同的负载功率下的驱动力矩调到相等,在不对称的三相负载或电压下运行时,使三相电能表的误差不致超出允许范围。平衡调整装置,广泛采用的是在弓形铁带上拧入两颗铁螺钉,调整螺钉圆头与电压铁芯间的气隙,相应地调整了驱动力矩大小。

同步调整法 调整大批同类型同规格的电能表时,可用同步调整法,以加速调整过程,一次可同时调整几十只电能表。同步调整法对单相表的调整方法与标准电能表法相同,只是它采用一只领头电能表作标准和若干只被检电能表的转速比较,而不需要准确地调定负载功率。领头电能表预先经过校正,其类型和规格一定与被检电能表相同。具体调整方法是根据要求转动转盘,当转盘停止时,检查转盘上的色标,根据色标的位置调整相应的调整装置,直至被试表转盘色标与起始位置的距离达到规程规定的长度,即为合格。

(陈 偏)

diannengbiao wucha

电能表误差 (error of watt-hour meter)

电能表测得的实际值与标准值之间的差值或百分比值,也称电能表的相对误差。凡影响电能表转速与负载功率成正比关系的一切因素都可能使电能表产生误差。在任何负载条件下,只有与负载功率成正比的驱动力矩和制动力矩作用在转盘上时,电能表的示值才是正确的。实际情况除有上述两个基本力矩外,还有抑制力矩、摩擦力矩和补偿力矩等附加力矩的作用,它们破坏了转盘的转速和负载功率成正比的关系,产生了误

差。电能表误差由基本误差和附加误差构成。

基本误差 感应式电能表在规定的电压、频率和温度的条件下,测得的误差值。使电能表产生基本误差的主要因素有:①抑制力矩,又称自制动力矩。抑制力矩分为电流抑制力矩和电压抑制力矩。抑制力矩阻碍圆盘的转动,使电能表出现负误差。②摩擦力矩。电能表转动元件在驱动力矩作用下旋转时,轴和轴承之间,计度器的传动齿轮之间,产生一个与转动方向相反的力矩,这就是摩擦力矩。摩擦力矩分为两部分,一部分是与转速无关的静摩擦力矩,另一部分是动摩擦力矩。当电能表轻载时,摩擦力矩的影响相对较大。摩擦力矩阻碍转盘转动,使电能表出现负误差。③电流铁芯磁化曲线的非线性影响。由于电流铁芯磁化曲线的非线性(见图1)引起轻负载时,电能表转速降低,出现负误差;负载增大时出现正误差;负载继续增大时,又出现负误差。

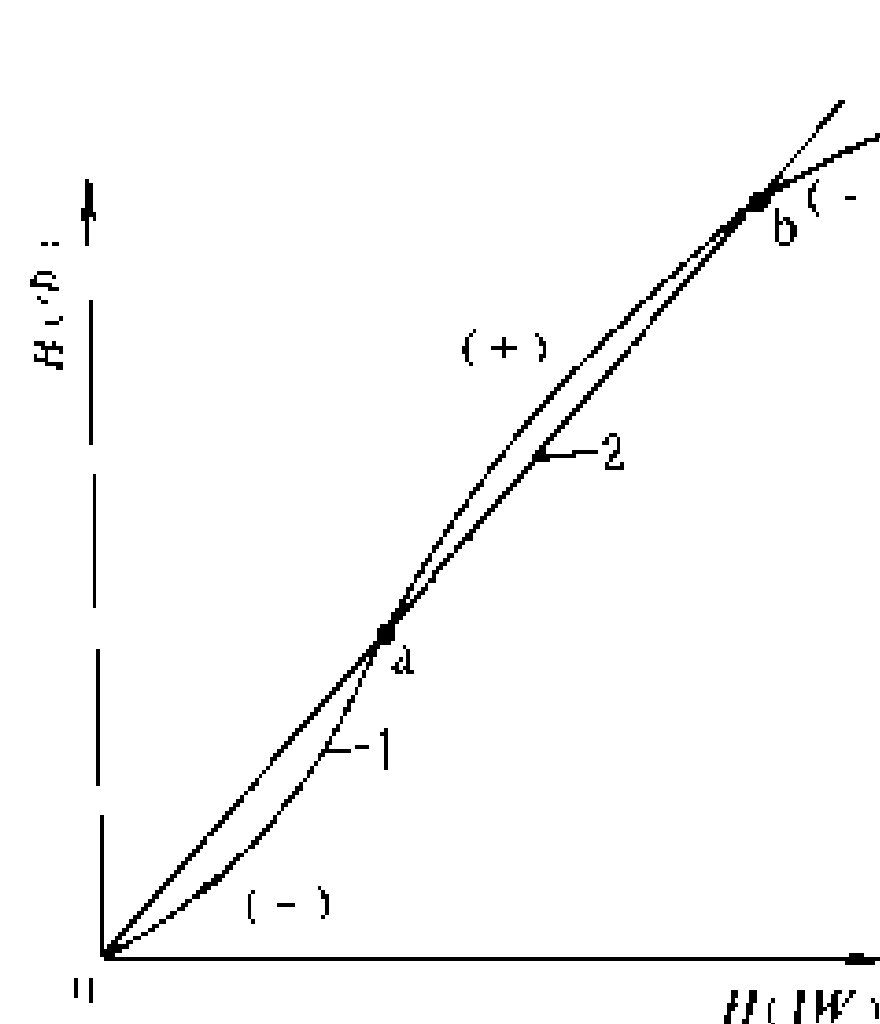


图1 电流铁芯的磁化曲线
1—实际的磁化曲线;2—理想的磁化曲线

④补偿力矩。电能表在轻载运行时,电流抑制力矩、摩擦力矩、电流铁芯磁化曲线的非线性影响都引起负误差。为了补偿这些负误差,在电能表结构中加装轻载调整装置,以补偿上述因素引起的负误差(见电能表调整)。此外,转盘位置的倾斜,驱动元件安装位置不正确等因素,也会影响电能表的基本误差。

电能表的基本误差随着负载电流和负载功率因数变化的关系曲线,称为电能表的负载特性曲线(见图2)。图中 γ 代表电能表基本误差, $\frac{I}{I_r}$ 代表负载电流(I)与标定电流(I_r)之比。

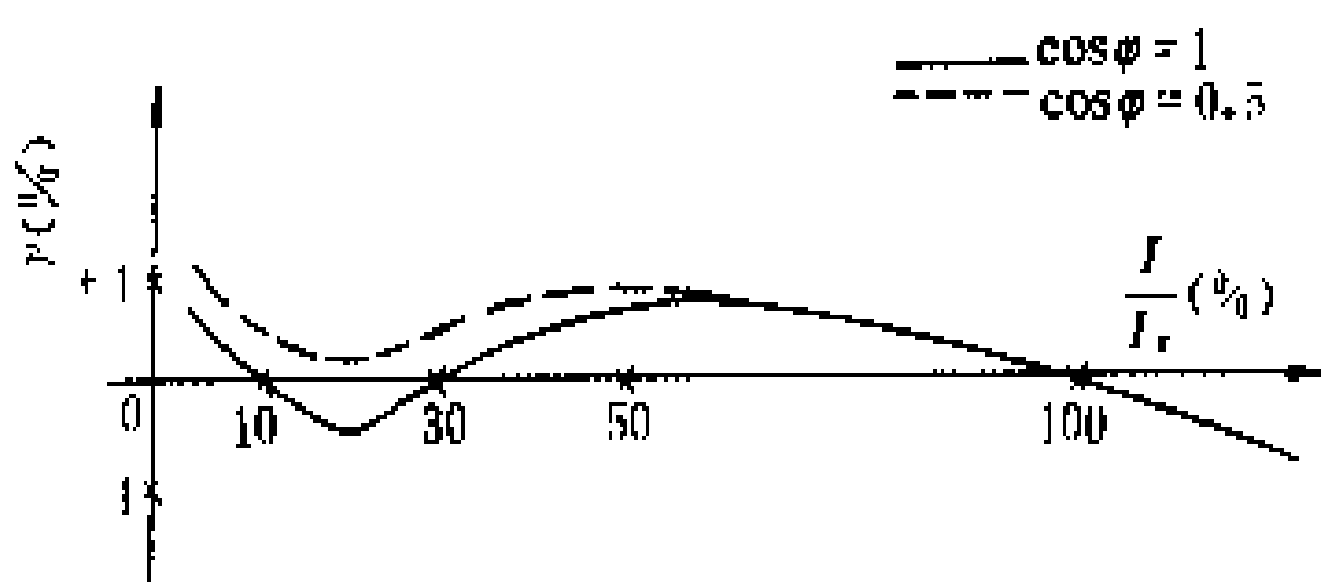


图2 电能表的负载特性曲线

附加误差 电能表在运行中,由于电压、频率和温度等外界条件变化的影响而产生的误差值。使电能表产生附加误差的主要因素有:①电压影响:当加于电压线圈两端的电压发生变化时,将引起电压铁芯中磁通

的变化,并且在这些磁通的路径上,涡流损耗和磁滞损耗也随之变化,致使电压磁通的大小及与工作磁通间的相位关系发生变化,破坏了驱动力矩、电压抑制力矩、补偿力矩等相互间原有的比例关系,使电能表产生了电压附加误差,简称电压误差。②频率影响:电网频率与电能表的额定频率不同时,将引起电流、电压工作磁通幅值以及它们之间的相位差的变化,致使电能表产生频率附加误差,简称频率误差。③温度影响:环境温度改变后,制动磁通会发生变化,电流、电压工作磁通大小及相角都要改变,引起温度附加误差,简称温度误差。④其他因素影响:自热,电压、电流波形畸变,倾斜、不稳定运行,三相电压不对称,相序,负载功率因数等都会引起附加误差,影响电能表的准确性。

(陈 侃)

dianneng jiliang fangshi

电能计量方式 (types of electrical energy measure)

由于计量电能的对象不同,选择电能计量装置的种类、结构也不同。电能计量方式与供电方式和电费管理制度等有关,因而世界各国的电能计量方式也有少量差异。中国的电能计量方式有:

(1) 单相供电的用户装设单相电能计量装置,三相供电的用户装设三相电能计量装置。

(2) 实行两部制电价的用户,宜装设最大需量表。

(3) 对要考核用电功率因数的用户,装设具有防倒机构的无功电能表;需要送、受双向计量时,分别装设具有防倒机构的无功电能表;对装有无功补偿设备有可能向电网倒送无功电能的用户,可装设带防倒机构的反向无功电能表,或双向无功绝对值累加无功电能表。

(4) 低压供电用户,其负荷电流为 80 A 及以下时,电能计量装置接线宜采用直接接入式;其负荷电流为 80 A 以上时,宜采用经电流互感器接入式。

(5) 高压供电的用户,在高压侧计量,但对 10 kV 供电,容量在 500 kV·A 及以下 35 kV 供电,容量在 315 kV·A 及以下的,可在低压侧计量,即采用高供低计方式。

(6) 执行分时电价的用户,装设具有分时计量功能的复费率有功、无功电能表。

(7) 有两路以上线路分别来自两个供电点或有两个受电点的用户,分别装设电能计量装置。

(8) 用户一个受电点内不同电价类别的用电,分别装设计费电能计量装置。

(9) 中性点接地的电网或三相负载不平衡场合的计量装置应采用三相四线有功、无功电能表;中性点非有效接地的电网的计量装置可采用三相三线有功、无

功电能表。

(10) 有送、受电量的地方电网和有自备电厂的用户,应在并网点上分设送、受电电能计量装置。

(陈 侃)

dianneng jiliang guanli

电能计量管理 (electric energy measuring management)

以保证电能计量的准确和可靠为目标的活动。电能是二次能源,按照能量守恒定律在一次能源转换为电能,电能的传输、分配以及转换为各种有用能的过程中,都要经过能量平衡计量。电能又是劳动创造的有价商品,上述过程又表现为价值的转移与交换。因此,电能计量的准确可靠与否,影响技术、经济等各方面的问題。

电能的计量不能使用通用的计量衡器,要用专用的电能计量装置进行计量。与其他衡器一样,电能计量不仅涉及数量平衡计算,而且涉及供电与用电双方的经济利益,因此世界各国大多通过立法授权设置电能量值传递的最高量值标准。作为电力企业检验电能计量装置的基准源,电力企业接受国家量值标准的传递并负责用户计费电能计量装置的检定。中国由国家授权电力部门自行成立电能计量装置的量值传递系统,其最高量值标准接受国家量值标准的传递。各级电力部门电能计量工作同时接受同级计量行政部门监督。

电能计量装置包括电能表、计量仪用互感器(包括电压互感器、电流互感器)以及仪表间的连接线。由于计量对象的量级相差悬殊,其计量允许误差引起的绝对值大小不同,因而按计量对象的量级进行电能计量装置的准确度分级。中国把电能计量装置分为四级。为了保证计量准确性,其电能计量方式和电能计量装置接线要符合规定,除各计量仪表的误差不超过要求值外,电能计量装置综合误差也不得超过要求的差值。发现超过差值或因接线错误引起误差,要进行电量差错计算,用以修正计量数据。新装前或修理后的电能表要进行电能表检验,为了保持运行中的电能表不因磨损等原因形成误差,也要按规定周期进行检验。在检验过程中进行电能表调整,把电能表误差调到规定范围内。仪用电流、电压互感器在新装前或修理后要按规定进行互感器检验,仪用电压互感器二次负载要在额定范围内,否则造成过多电压降影响电能计量的准确性。

(陈 侃)

dianneng jiliang zhuangzhi

电能计量装置 (measuring device for electrical energy)

用于测量、记录发电量、供(互供)电量、厂用电量、线损电量和用户用电量的计



量器具。电能计量装置有电能表（有功、无功电能表，最大需量表，复费率电能表等）、计量用互感器（包括电压互感器和电流互感器）及连接二次线构成的总体。

中国将电能计量装置按其计量的重要性分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ四类，相应的电能表和互感器准确度等级见表。

各类电能计量装置应配量的电能表及互感器的准确度等级				
电能计量装置类别	准确度等级			
	有功电能表	无功电能表	电压互感器	电流互感器
Ⅰ	0.5	2.0	0.2	0.2 或 0.2 S
Ⅱ	1.0	2.0	0.2 或 0.5 (*)	0.2 或 0.2 S 或 0.5 (*)
Ⅲ	1.0	2.0	0.5	0.5 或 0.5 S
Ⅳ	2.0	3.0	0.5	0.5 或 0.5 S

注：1. 0.5 (*) 级电压互感器或电流互感器原为 0.5 级电压互感器或电流互感器，在正常工作电压或负荷电流范围内和实际二次负载下，其实际误差符合 0.2 级互感器的要求。
2. S 表示加强结构。

各类电能计量装置适用的范围：①Ⅰ类，用于计量 10 万 kW 及以下发电机发电量；月平均用电量 100 万 kW·h 及以上或变压器容量为 2000 kV·A 及以上的高压计费用户；跨省电网之间的联络线。②Ⅱ类，用于计量 10 万 kW 以下发电机发电量；月平均用电量 10 万 kW·h 及以上或变压器容量为 315 kV·A 及以上的高压计费用户；发电厂厂用电。③Ⅲ类，用于计量月平均用电量 10 万 kW·h 以下或变压器容量为 315 kV·A 以下的高压用户和用电容量较大的低压用户。④Ⅳ类，用于计量其他低压用户。

电压互感器二次回路电压降要求：对Ⅰ类电能计量装置不大于额定电压的 2.5%，对Ⅱ、Ⅲ类电能计量装置不大于额定电压的 5%。

为保证电能计量装置准确地计量电能，首先应正确地选择电能计量装置类别；其次，选择性能和质量优良的电能表和仪用互感器，以及二次回路导线截面，并按规定安装、维护，确保电能计量装置运行的安全、准确、可靠。

(陈 偏)

dianneng jiliang zhuangzhi jiejian

电能计量装置接线 (connection of measuring for electrical energy) 电能计量装置和被测电路的电气连接。电能计量装置接线应符合标准和有关规定，不然，即使电能表、互感器等均符合准确度

要求，接线后的测量结果也不一定正确。

电能计量装置接线按被测电路的不同分为单相、三相三线、三相四线接线；按电压和电流的高低或大小分为直接接入和经互感器接入方式。常用的几种接线如下。

单相电路有功电能的测量接线 测量接线见图 1。电能表的电流线圈或电流互感器的一次绕组与相线串联，而电能表的电压线圈两端跨接在电源端的相线与零线（中性线）上。图 1 (a) 中电能表电流、电压线圈标有黑点的一端，与电源端的相线连接。当负载电流 i 和流经电压线圈的电流 i_v 都由黑点端流入相应的线圈时，电能表才能正转。当电能表经电流互感器接入时，电流互感器绕组按“减极性”（见互感器检验）连接，见图 1 (b)。

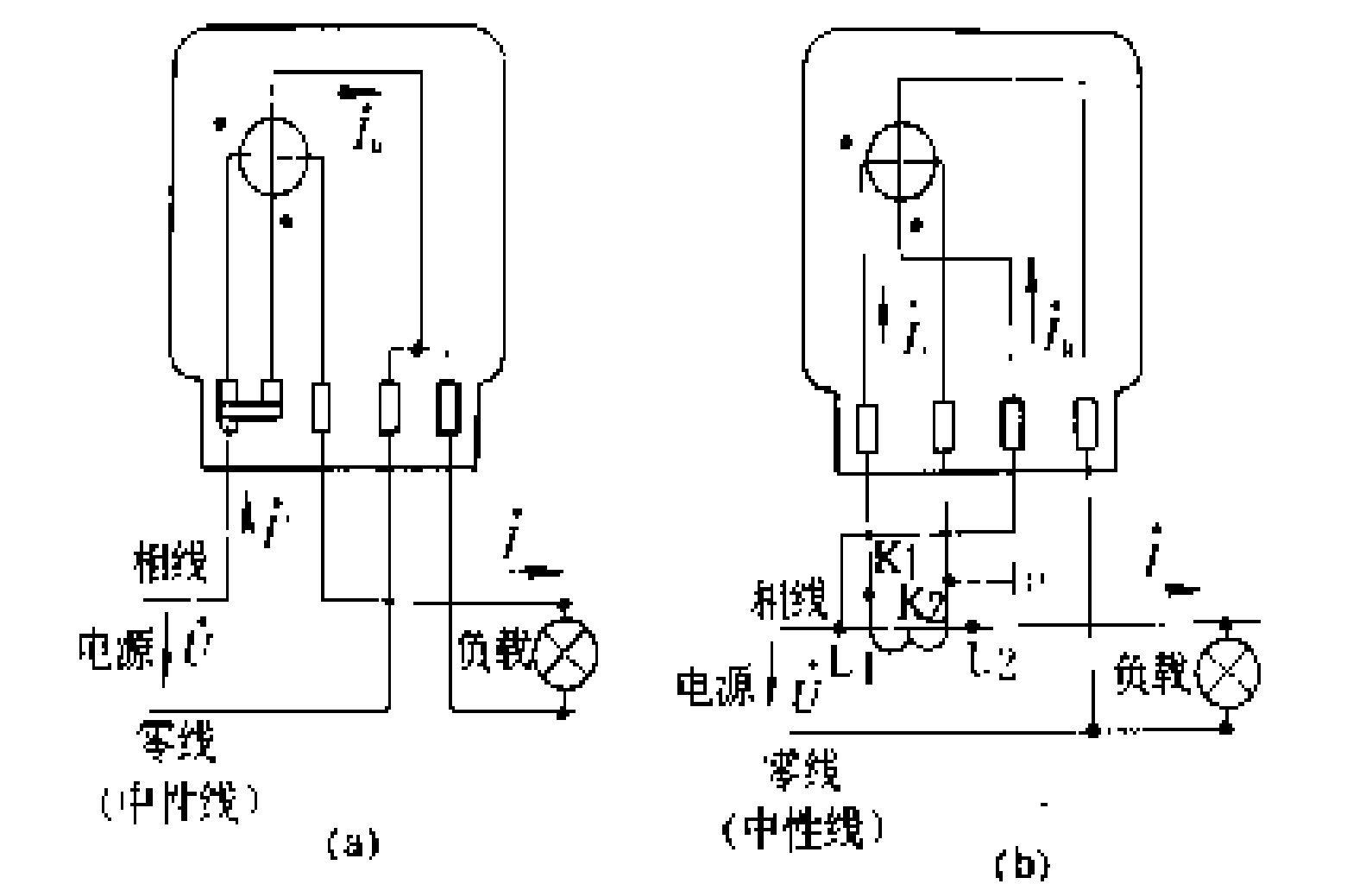


图 1 单相有功电能表测量
单相电路有功电能的接线
(a) 直接接入；(b) 经电流互感器接入

如果电能表的电流线圈或电流互感器的一次绕组与零线串联，如图 2 所示，表仍然正转，但可能发生漏计或虚增虚减现象。

电压线圈应跨接在电源端，见图 3 (a)。如电压线圈跨接在负载端，流过电流线圈的电流为负载电流 i 和电压线圈电流 i_v 之和 [见图 3 (b)]，电能表测定的电能包括负载和电压线圈消耗的电能，负载停用时，可能因电压线圈消耗电能，使表发生正向潜动。

图 2 电能表的电
流线圈串接在零线上

三相四线电路有功电能的测量接线 测量三相四线电路有功电能时，采用三元件三相四线有功电能表，接线如图 4 所示，或采用三只单相电能表，接线如图 5 所示。图 5 中有功电能的消耗等于三只单相电能表示数的代数和。

三相三线电路有功电能的测量接线 测量三相三

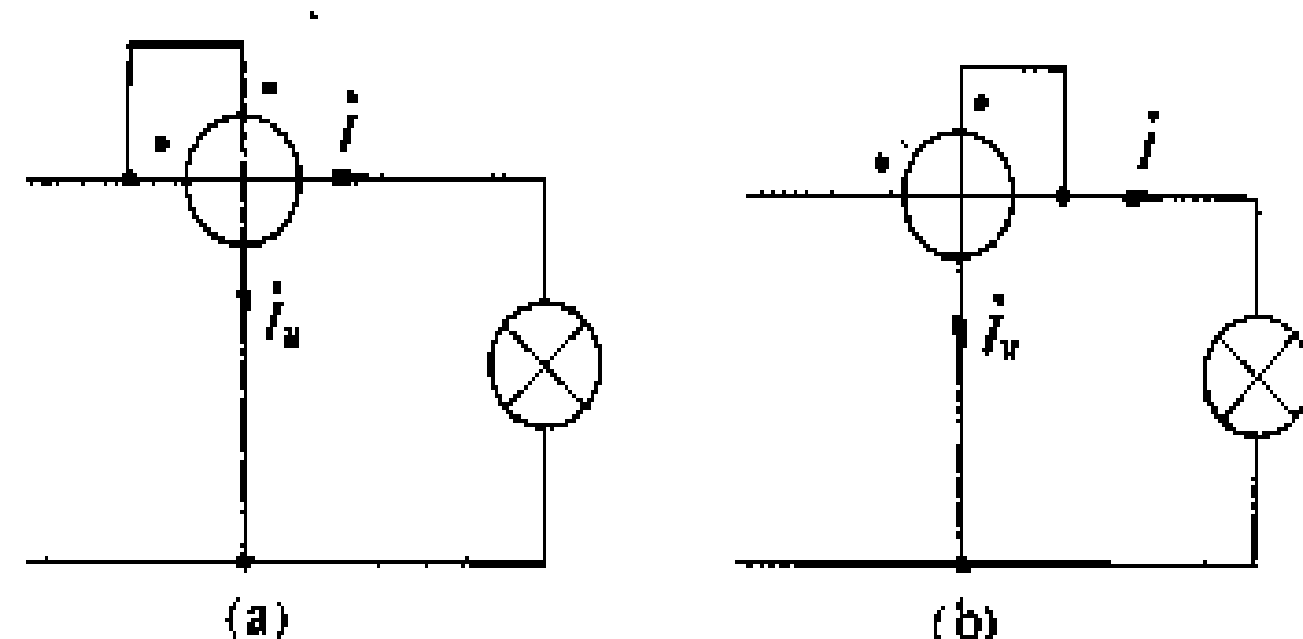


图3 电能表的电压线圈跨接方式
(a) 电源端；(b) 负载端

线电路有功电能时，采用一只三相三线有功电能表，接线如图6所示，或采用两只单相电能表，接线如图7所示。

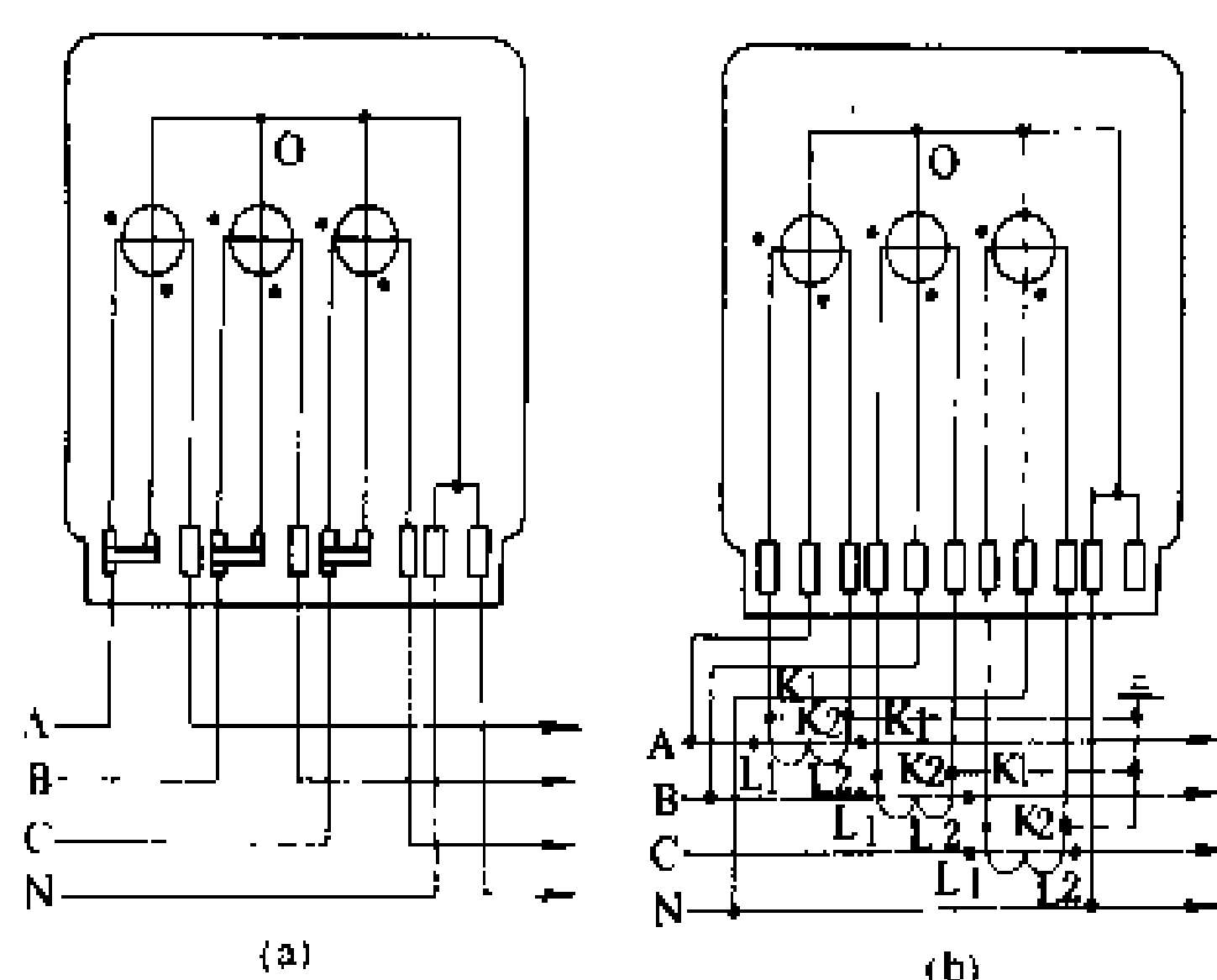


图4 三元件三相四线有功电能表测量
三相四线电路有功电能的接线
(a) 直接接入；(b) 经电流互感器接入

图6(a)中，第一元件电流接 \dot{I}_A ，电压接 \dot{U}_{AB} ；第二元件电流接 \dot{I}_C ，电压接 \dot{U}_{CB} 。三相电路对称时，按图6、图7接线，测得的功率是一致的，都是

$$P = U_{AB}I_A \cos(30^\circ + \varphi) + U_{CB}I_C \cos(30^\circ - \varphi)$$

三相有功和无功电能的联合测量接线 需要同时测量有功电能和无功电能时，同时要用有功电能表和无功电能表，并采用联合测量接线。图8、图9为典型的联合测量接线。

图8采用一只三相四线有功电能表和一只三元件跨相连接的无功电能表。图9采用一只三相三线有功电能表和两只60°型无功电能表。这两只无功电能表都带止逆器，分别用于测量感性无功电量和容性无功电量。联合接线注意事项：

(1) 按照各种相应接线方式，使电压回路并联，电流回路串联。

(2) 互感器二次回路中装有接线盒，以便在运行状态下不停电可进行校表和带电状态下拆表、装表方便安全。

(3) 电流回路串联后的总负载不超过电流互感器额定容量。

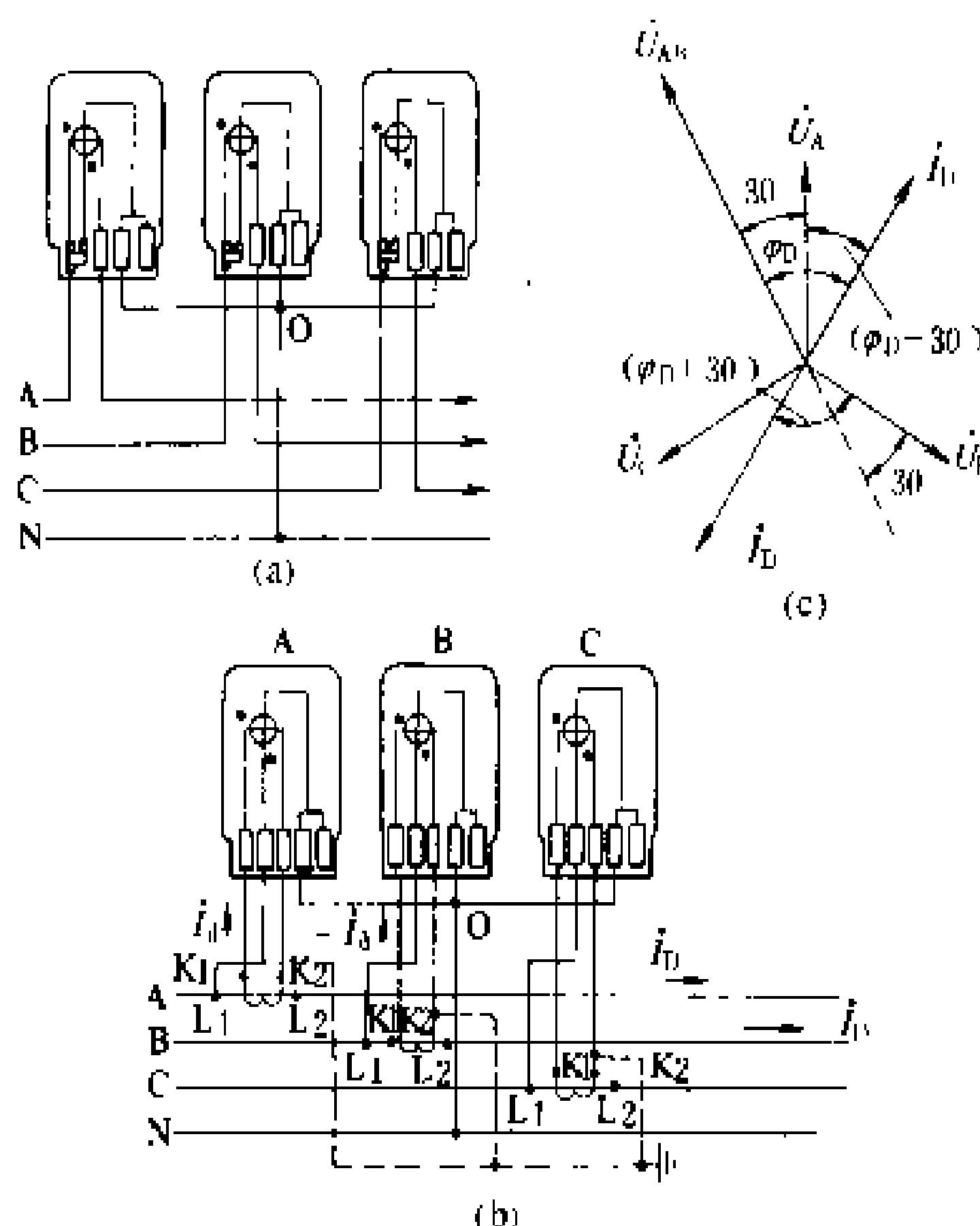


图5 三只单相电能表测量三相四线
电路有功电能的接线
(a) 直接接入；(b) 经电流互感器接入；(c) 负载电压
电流相量图

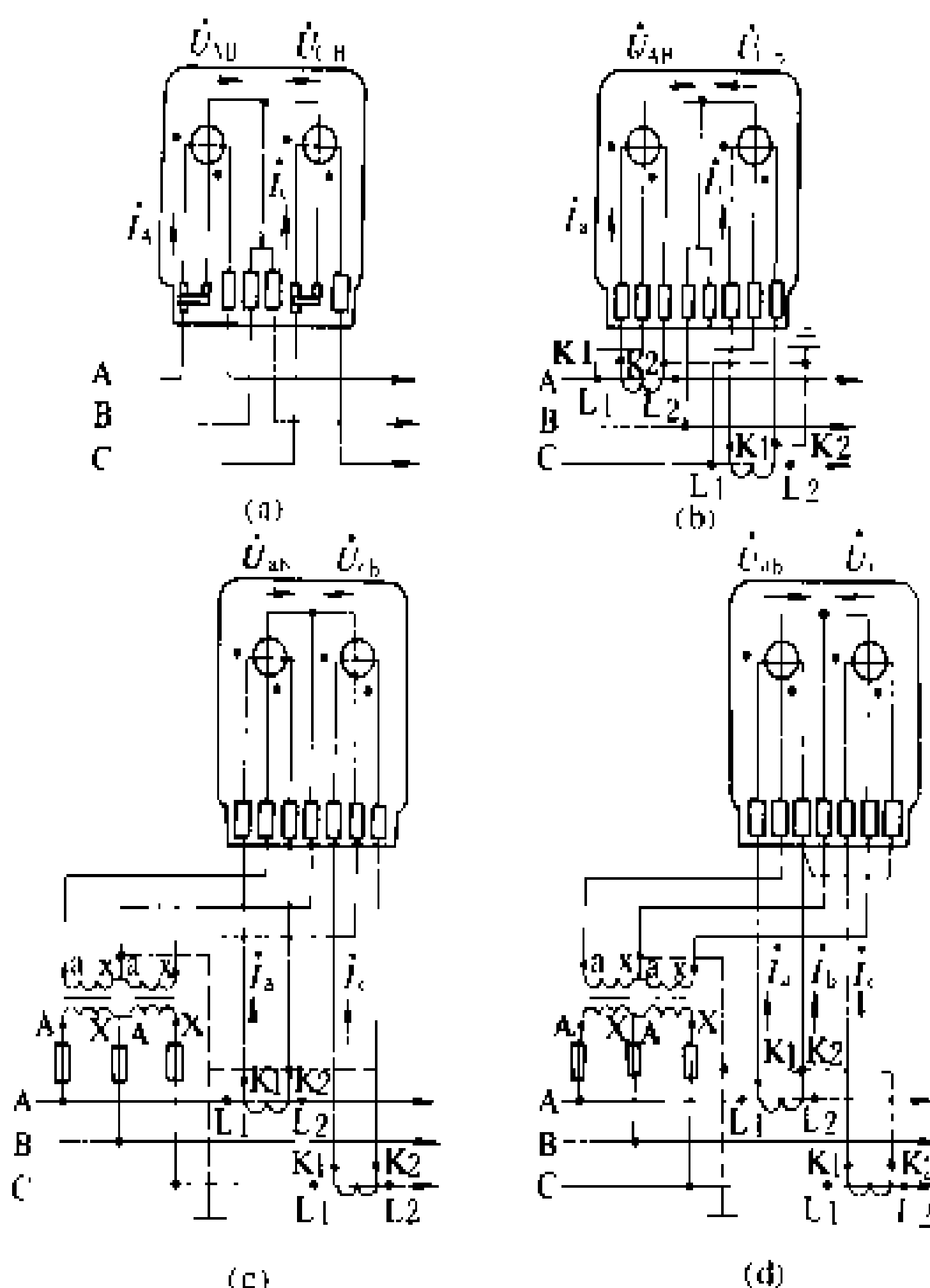


图6 三相三线有功电能表测量三相
三线电路有功电能的接线
(a) 直接接入；(b) 经电流互感器接入；(c)、(d) 经电压、
电流互感器接入

(4) 电压回路并联后的总负载应在电压互感器额定容量的 25%~100% 范围内。

(5) 计量用的互感器二次回路应保安接地。

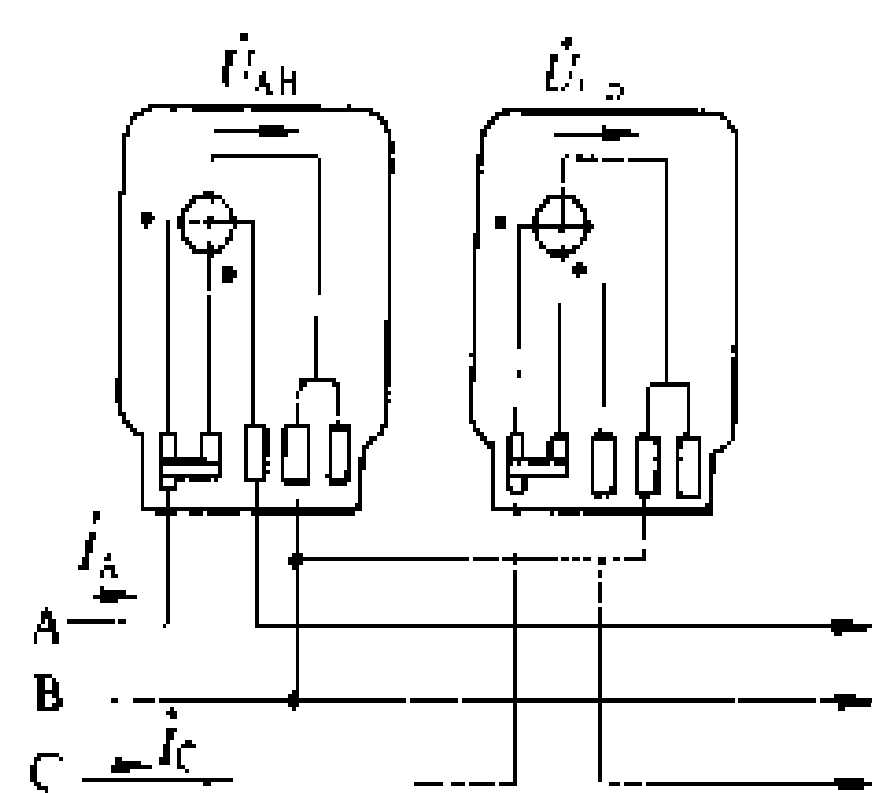


图 7 二只单相电能表
测量三相三线电路
有功电能的接线

(6) 电压互感器装在电流互感器的电源侧, 如装在负载侧, 则电压互感器消耗的电能也计入电能表内, 容易引起表正向潜动。

(7) 电压互感器二次回路应专设, 二次回路压降

不超过规程要求, 二次回路导线截面不小于 1.5 mm²。

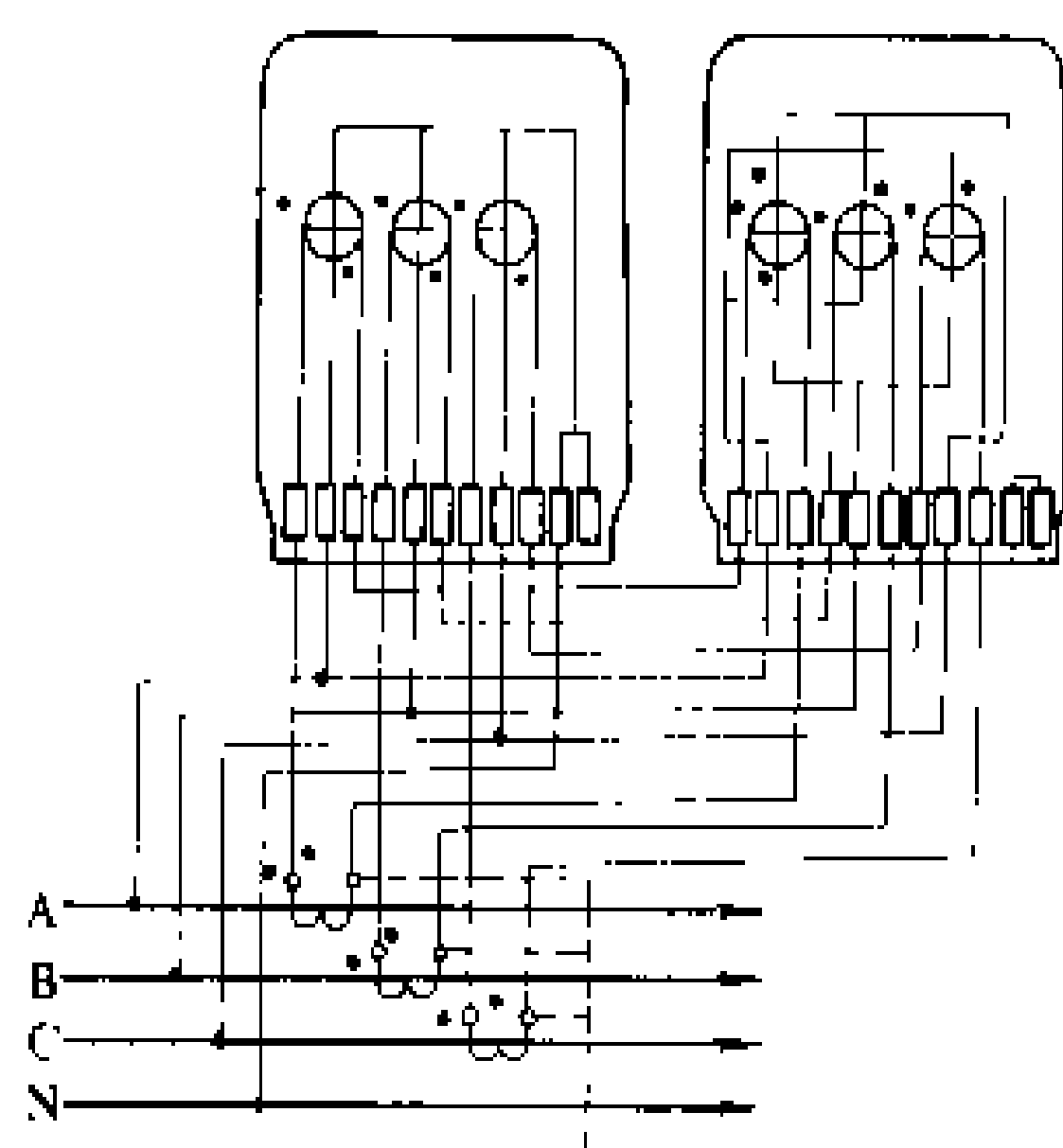


图 8 测量低压三相四线电路有功
电能和无功电能的联合接线

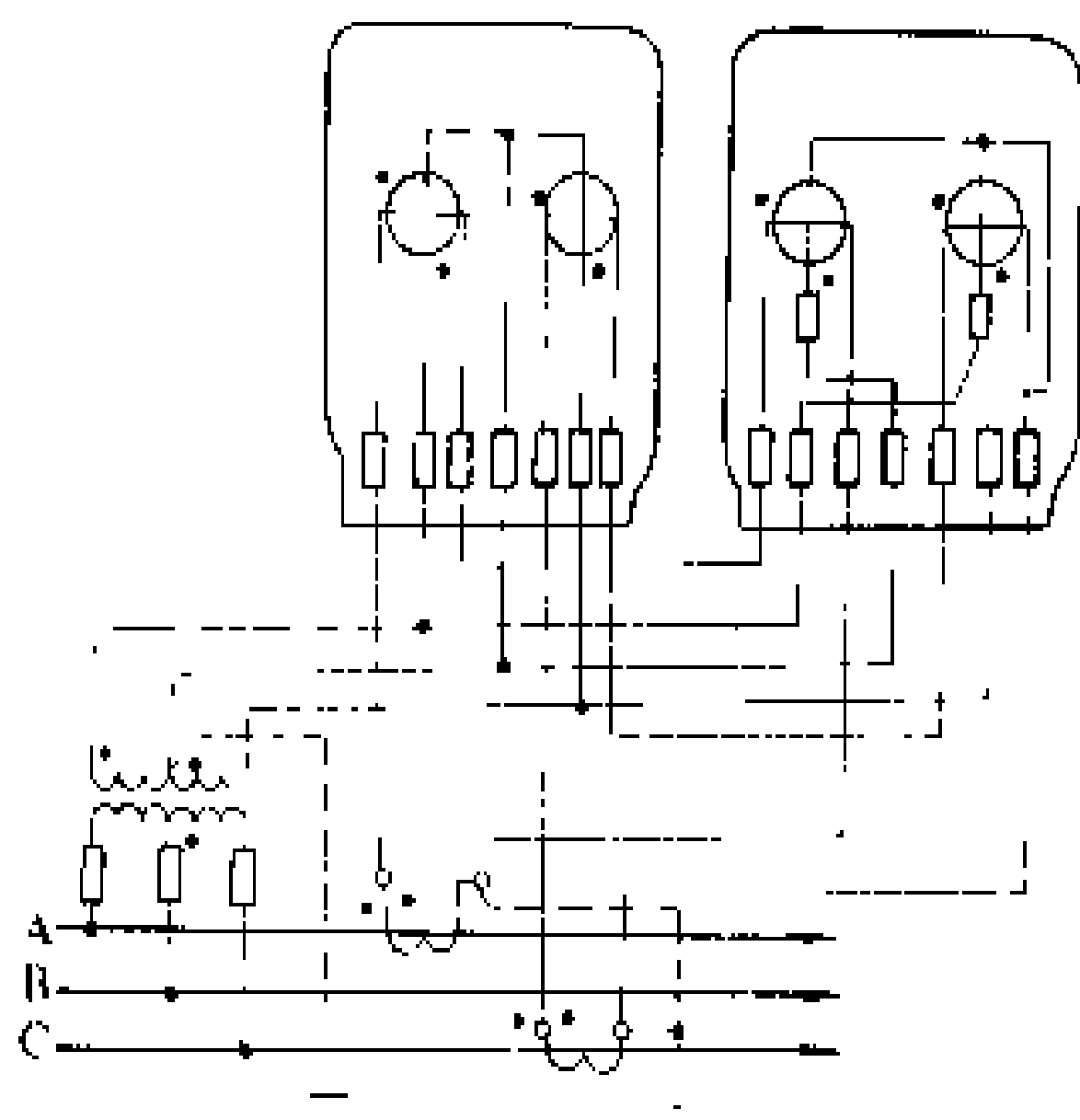


图 9 测量高压三相三线电路有功
电能和无功电能联合接线

电流互感器二次回路导线截面不小于 2.5 mm²。中国计量柜标准设计中, 为了降低二次线路压降, 导线截面分别增大至 2.5 mm² 和 4 mm², 并采用铜芯绝缘导线,

但不得用软线。

(陈 偏)

dianneng jiliang zhuangzhi zonghe wucha

电能计量装置综合误差 (over-all error of electrical energy measuring device)

电能计量装置的电能表误差、测量用互感器合成误差和电压互感器二次回路压降引起的误差的代数和。综合误差的计算公式为

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3$$

式中 γ 为电能计量装置综合误差, %; γ_1 为电能表误差, %; γ_2 为互感器的合成误差, %; γ_3 为电压互感器二次回路压降引起的误差, %。

世界各国都对电能计量装置的综合误差规定了限值并采取措施减少综合误差。中国对电能计量装置综合误差限值的规定是: 对 I 类电能计量装置, 不得超过 $\pm 0.7\%$; 对 II、III 类电能计量装置, 不得超过 $\pm 1.2\%$ 。

电能表误差 (γ_1) 见电能表误差。

测量用互感器的合成误差 (γ_2) 由于测量用电流、电压互感器存在比值差 (简称比差) 和相角差 (简称角差), 在测量中将引起合成误差。在某些场合, 虽然互感器本身的比差、角差都符合要求, 但其合成误差可能很大。合成误差的计算公式为

$$\gamma_2 = \frac{K_I K_V P_2 - P_1}{P_1} \times 100$$

式中 γ_2 为互感器的合成误差, %; K_I 为电流互感器的额定变比; K_V 为电压互感器的额定变比; P_1 为互感器一次侧的功率; P_2 为互感器二次侧功率。

电压互感器二次回路压降引起的误差 (γ_3) 电能表电压线圈接在电压互感器二次回路中, 因回路中的电缆、熔断器有电阻和电抗, 会造成电压降, 所以电能表端电压和电压互感器出口端电压在数值和相位上不一致, 这样就造成了电压互感器二次回路压降误差。压降引起的误差的计算式为

$$\gamma_3 = \frac{P' - P}{P} \times 100$$

式中 γ_3 为电压互感器二次回路压降误差, %; P' 为电能表端三相有功功率; P 为电压互感器出口端三相有功功率。

减少综合误差的方法 通常采用的方法有:

(1) 调整电能表时考虑互感器的合成误差, 使电能表的误差和互感器的合成误差互相抵消, 以减少电能计量装置的综合误差。

(2) 根据互感器的误差, 合理地组合配对。配对的原则是接到电能表同一元件的电流互感器和电压互感器的比差 f_{v1} 与 f_{i1} 、 f_{v2} 与 f_{i2} 符号相反、数值接近或相

等；而它们的角差 δ_{I1} 与 δ_{U1} 、 δ_{I2} 与 δ_{U2} 符号相同、数值接近或相等。

(3) 根据电能表运行条件合理调表，即根据现场环境温度、季节变化趋势、负荷大小、有无电磁场影响等合理地调表。

(4) 对互感器误差进行调整。对运行中的电流、电压互感器，可视现场具体情况进行误差补偿，也可调整某一相或两相的互感器比差和角差，以减少合成误差。

(5) 采用专用的计量回路，尽量缩短二次回路长度，加大导线截面，降低导线电阻，以减少电压互感器二次回路压降引起的误差。

(陈 侃)

dianheng liyonglǜ

电能利用率 (utilization rate of electrical energy) 用电体系(即用电对象或范围)内的有效电能量占供给电磁量的百分数。电能利用率表示电体系在一定的生产周期内,完成生产计划或产品时,供给电磁量的有效利用程度,是衡量用电体系合理用电程度的主要标志,是判断用电体系耗能水平与电能利用合理性、经济性的一项综合性指标,也是考察企业、车间电能利用状况的基本依据。电能利用率一般通过电能平衡测试取得。其表达式为

$$H=\frac{W_y}{W_g}\times 100$$

或
$$H=\left(1-\frac{W_s}{W_g}\right)\times 100$$

式中 H 为用电体系的电能利用率,%; W_g 为供给电能量,是指从用电体系边界外供给用电体系的有功电能量, $\text{kW}\cdot\text{h}$; W_y 为有效电能量,指用电体系在一定生产工艺条件下,达到预定生产目标及工艺规定的产品质量标准时,在物理化学变化中必须消耗的有功电能量, $\text{kW}\cdot\text{h}$; W_s 为损失电能量,其值为供给电能量与有效电能量之差, $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

(翟克俊)

dianheng pingheng

电能平衡 (electrical energy balance) 对用电体系(即用电对象或范围)使用电能的情况,进行定量分析的一种科学方法。通过电能使用情况的测算与定量分析,研究对所确定的用电体系内,供给的电磁量的分布与流向、收入与支出及转换过程中的有效利用与损失之间的平衡关系,以便加强用电管理。

依据电能平衡的用电对象或范围的不同,一般分

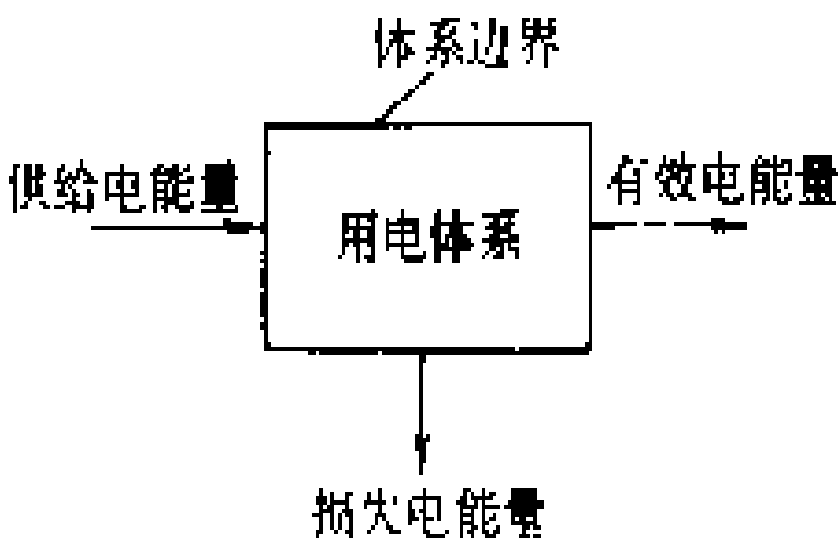
为设备电能平衡和企业电能平衡。前者是对一台设备、一套装置的电能平衡,后者是对一个车间、一个企业的电能平衡。设备电能平衡是企业电能平衡的基础,因为企业电能有效利用水平,取决于企业众多设备电能有效利用的程度。

根据能量守恒定律,用电体系电能平衡的基本模型如图所示。电能平衡式为

$$\text{供给电能量}=\text{有效电能量}+\text{损失电能量}$$

供给电能量是指由电网和企业自备发电机供给的电能量之和;有效电能量是在一定生产工艺条件下,达到预定的目标及工艺

规定的质量标准时,在物理化学变化中必须消耗的电能量;损失电能量是在输送、转换和产品生成过程中损失的电能量,其



电能平衡的基本模型

中一部分损失是不可避免的,另一部分损失通过采取措施是可以避免的。

通过电能平衡可以全面系统地掌握企业的用电状况,从电能的输入、分配、传递、转换和使用等方面,了解各个环节电能利用与损失的情况和规律,测算主要用电设备的实际运行效率和企业电能利用率,分析电能利用水平,找出设备、工艺、操作、管理等方面的节能潜力,制定综合技术改造措施和规划,为加强企业用电管理,制定产品电耗定额,合理使用电能,提高电能利用率,提供科学依据。

(翟克俊)

dianpaoguang

电抛光 (electropolishing) 以金属工件为阳极,在适宜的电解液中进行电解,有选择地除去其粗糙面,提高表面光洁度的技术,又称电解抛光。电抛光可增加不锈钢的耐腐蚀性,减少电气接触点的电阻,制备金相磨片,提高照明灯具的反光性能,提高各种量具的精度,美化金属日用品和工艺品等,适用于钢铁、铝、铜、镍及各种合金的抛光。

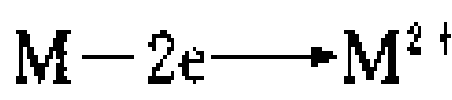
对钢铁、铝、铜等金属工件进行抛光时,以工件为阳极,以铅板为阴极,分别在以硫酸、磷酸、铬酸等配制的电解液中进行电解。在电解过程中,在工件(阳极)的表面形成高电阻的粘稠液膜。从微观上看,工件表面凹进去的部分附着的液膜较厚,因而电流密度较小,工件金属溶解的速度较慢,凸出的部分附着的液膜较薄,因而电流密度较大,工件金属溶解的速度较快,从而提高了工件表面的光洁度和光泽。电抛光的特点是阳极电流密度大,且因金属不同电流密度变化范围



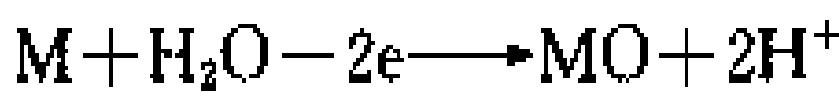
很大,可达 60~10000 A/m²;加工效率高,工序少,可在数秒至数分钟内完成抛光过程。

电抛光的過程主要是阳极溶解过程,其阳极反应如下:

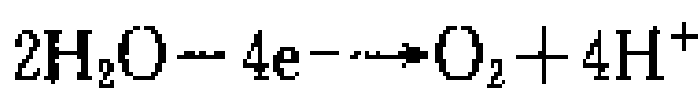
(1) 阳极(工件)毛刺和凸起部分的金属失去电子溶入电解液



(2) 生成氧化膜

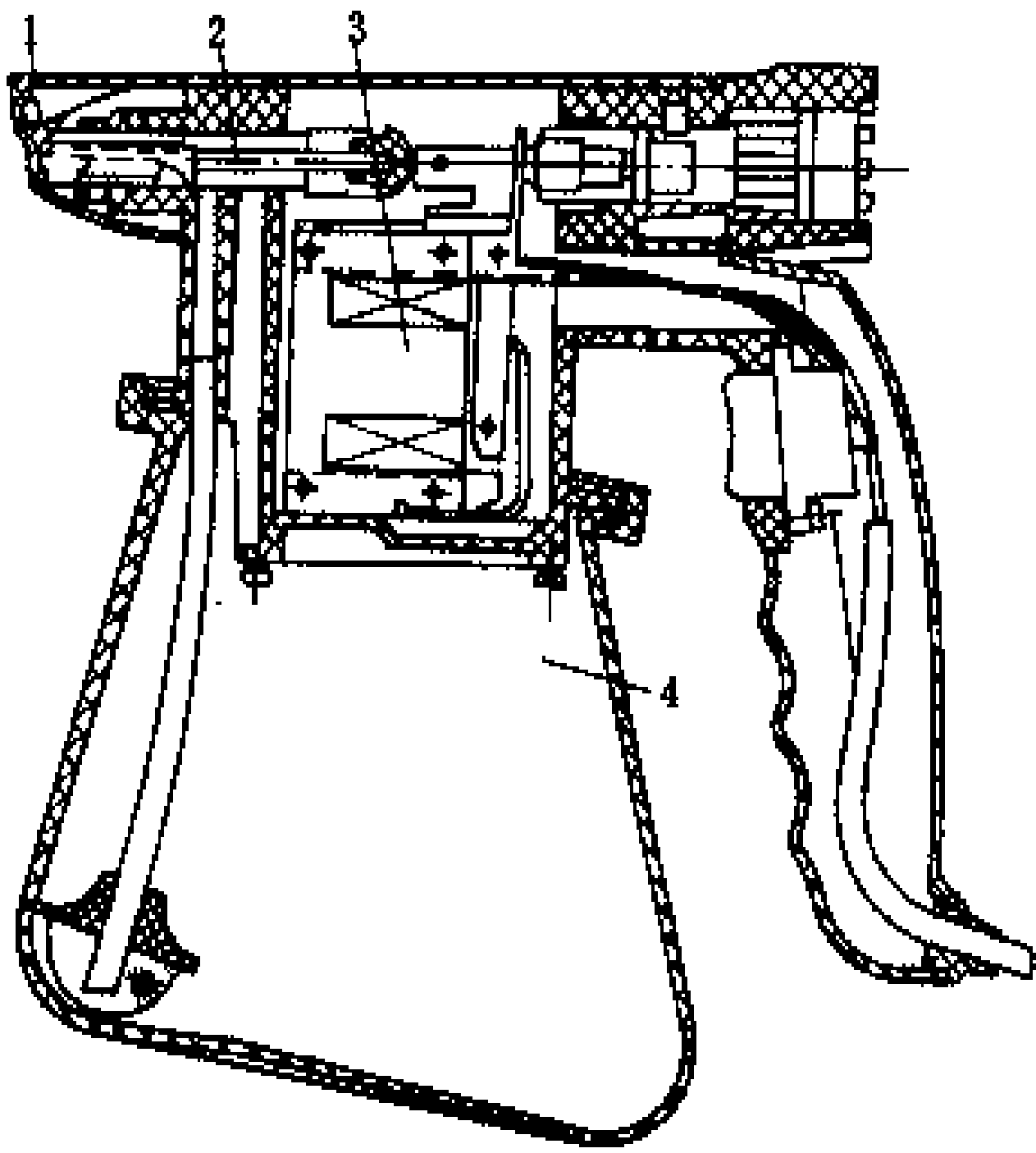


(3) 析出气体氧



电抛光的阴极,其主要作用是导电,氢离子在阴极上放电,析出氢气。

(马荫华)



电喷枪的结构

1—喷嘴;2—活塞;3—电磁铁;4—料罐

dianpenqiang

电喷枪 (electric spraygun) 把各种低粘度的液体喷射成雾状的电动工具。电喷枪用于喷撒防霉剂、防虫剂、杀虫剂和涂料等。用电喷枪喷撒不需要空气压缩机。

电喷枪喷射的雾化原理是:由电磁铁带动往复柱塞泵产生高压(约 10 MPa)将喷料由喷嘴高速喷出,进入空气后即迅速扩散雾化成颗粒直径为 0.05~0.5 mm 左右的雾束。电喷枪的结构见图。它由电磁铁、料罐、喷嘴、手柄等组成。电源开关为封闭式或具有隔爆结构,以防触头的火花引燃易燃气雾。

电喷枪喷撒的涂料或药剂需先进行过滤。对粘度大的涂料应用合适的稀释剂加以稀释。喷射时,应尽量保持水平方向作业。喷距、喷幅、流量的选择由尾部的调节杆来实现。使用喷枪喷射涂料后,须喷稀释剂一次,以清洗活塞套内部,然后拧下料罐,从活塞套小孔内滴入机油,再启动开关一次,以防止锈蚀。

喷易燃物质时,操作区域内需保持通风良好。

见家用电动工具。

(李邦协)

dianqi anquan yongju

电气安全用具 (safety appliance) 防止电气工作人员进行电气操作或检修时发生触电、电弧

表 1 常用电气安全用具试验一览表

序号	名称	电压等级 (kV)	周期	交流耐压 (kV)	时间 (min)	泄漏电流 (mA)	备 注
1	绝缘棒	6~10	每年一次	44	5		
		35~154		4 倍相电压			
		220		3 倍相电压			
2	绝缘挡板	6~10	每年一次	30	5		
		35		80	5		
		(20~44)					
3	绝缘罩	35 (20~44)	每年一次	80	5		
4	绝缘夹钳	35 及以下	每年一次	3 倍相电压	5		
		110		260			
		220		400			
5	验电笔	6~10	每六个月一次	40	5		发光电压不高于额定电压的 25%
		20~35		105			
6	绝缘手套	高压	每六个月一次	8	1	≤9	
		低压		2.5		≤2.5	
7	橡胶绝缘靴	高压	每六个月一次	15	1	≤7.5	
8	核相器电阻管	6	每六个月一次	6	1	1.7~2.4	
		10		10		1.4~1.7	
9	绝缘绳	高压	每六个月一次	105/0.5m	5		



灼伤、高空坠落等事故而使用的工具。电气安全用具不仅有助于完成工作任务，而且对保护人身安全起着重要作用。为保证工具的使用安全，对各种电气安全用具应注意维护、保养和进行电气试验。

分类 电气安全用具分绝缘安全用具和一般防护安全用具两大类。

绝缘安全用具指有一定绝缘强度，用以保证电气工作人员与带电体绝缘的工具。它又分为基本安全用具和辅助安全用具。基本安全用具的绝缘强度能长期承受电气设备工作电压，可直接接触带电体。这类工具有绝缘棒、绝缘夹钳、验电器等。辅助安全用具的绝缘强度不能承受工作电压，只能用来加强基本安全用具的防护作用，不能直接接触带电体。这类工具有绝缘手套、橡胶绝缘靴、绝缘垫、绝缘站台、绝缘毯等。

一般防护安全用具指本身没有绝缘强度，只用于防护工作人员避免发生人身事故的工具。这类电气安全用具主要用来防止停电检修设备的突然来电、工作人员走错间隔、误登带电设备以及电弧灼伤、高空坠落等。属于这一类的工具有携带型接地线、临时遮栏、标示牌、警告牌、防护目镜、安全帽和安全带等。此外，登高用的竹（木）梯、脚扣、升降板和一些起重工具也属于一般防护安全用具。

各种安全用具应定期进行检查和试验。中国规定的试验周期和标准见表 1、表 2。

（陈金盛）

dianqihua tielu

电气化铁路（electric railway）采用电力牵引的铁路，又称电气化铁道。这种铁路除具有一般铁路通用的设施外，其显著特征是采用电力机车牵引列车并在铁路沿线设有向电力机车供电的电力牵引供电系统。（参见彩图插页第 18 页 59 图）

电力机车本身不带原动机，所需电能由电气化铁路电力牵引供电系统提供。电力机车具有功率大、速度高、过载能力强、运输能力大等优点，特别适用于高速、重载、大运输量的干线铁路和坡度大、隧道长的山区铁路，以及水源缺乏地区的铁路。

现状 铁路电气化里程最长的为欧洲，其次是亚洲、非洲、美洲、大洋洲；铁路电气化率最高的也是欧洲，其次是非洲、亚洲、大洋洲、美洲。电气化铁路以较短的里程完成较大运输量的情况见表 1。

中国干线电气化铁路采用单相工频交流制。据 1992 年年底统计，中国铁路营业里程为 53565.2 km；其中电气化铁路 8434.1 km，电气化率为 15.7%，承担全路客、货总周转量的 20%。中国电气化铁路状况见表 2。

电气化铁路的电力牵引供电系统一般由牵引变电所、馈电线、接触网、轨道（地）回路、回流线等组成。根据不同的供电制式，牵引供电系统的结构有所不同。

分类 根据运量性质及所处位置，电气化铁路可分为干线电气化铁路、工业矿山专用电气化铁路、地下铁道、轻轨交通、磁浮铁路、独轨铁路。按电力牵引采用电流的制式，电气化铁路可分为直流（制）与交流（制）两大类。

干线电气化铁路 连接国家各个地区，承担国家大量运输任务，货运量大，客运距离长。

工业矿山专用电气化铁路 位于厂区或露天矿区，有的与干线铁路接通，主要承担与本企业有关的产品、原材料及燃料的运输，速度较低。

地下铁道 位于大城市的地下隧道内，主要为客运，运量较大，速度较快。

轻轨交通 简称轻轨（LRT），中运量级的城市快速轨道交通，主要为客运，运量介于公共汽车（电车）

表 2 登高、起重工具试验标准表

分类	名称	实验静重 (允许工作倍数)	试验周期	外表检查 (周期)	试荷时间 (min)	试验静拉力 (N)
登高工具	安全带 大带 小带		半年一次	每月一次	5	2205 1470
	安全腰绳		半年一次	每月一次	5	2205
	升降板		半年一次	每月一次	5	2205
	脚扣		半年一次	每月一次	5	980
	竹（木）梯		半年一次	每月一次	5	试验荷重 1765N (180 kg·f)
起重工具	白棕绳	2	每年一次	每月一次	10	
	钢丝绳	2	每年一次	每月一次	10	
	铁链	2	每年一次	每月一次	10	
	葫芦及滑车	1.25	每年一次	每月一次	10	
	扒杆	2	每年一次	每月一次	10	
	夹头及卡	2	每年一次	每月一次	10	
	吊钩	1.25	每年一次	每月一次	10	
	绞磨	1.25	每年一次	每月一次	10	

使用与维护 电气安全用具必须加强日常的保养和维护，防止受潮、损坏和脏污，使用前应进行外观检查，表面应无裂纹、划痕、毛刺、孔洞、断裂等外伤。电气安全用具不许当作其他用具使用。

和地下铁道之间。

表 1 电气化铁路里程与运量

国家	统计年度	全国铁路营业里程(km)	电气化铁路里程(km)	电气化铁路占全国铁路营业里程比重(%)	电力牵引承担全国运量比重(%)		
					客运	货运	合计
中国	1970	40989	291	0.7			0.6
	1992	53565.2	8434.1	15.7			21.6
日本	1970	21412	6574	30.7	75.1	72.7	74.1
	1989	20341	11586	57.0	91.6	88.4	89.2
法国	1970	36117	9351	25.9	75.9	16.8	76.5
	1989	34322	12430	36.2	83.9	86.8	85.5
联邦德国	1970	29527	8586	29.1	71.7	72.1	12.0
	1989	27045	11688	43.2	83.9	88.9	87.1
意大利	1970	16069	7916	49.3	85.3	93.4	89.0
	1989	16030	9443	58.9	89.8	94.7	91.6
苏联	1970	135200	33861	25.0			48.7
	1989	147359	53800	36.5	67.2	63.3	63.7
英国	1970	19229	3162	16.4	43.2	8.9	34.5
	1989	16588	4546	27.4	65.7	11.1	48.7
印度	1970	59624	3553	6.0	17.9	21.1	20.2
	1989	61985	8880	14.3	36.4	37.5	37.2

注：1. 计算运量比重时运量均按 t·km 计，仅英国铁路 1970 年的运量按列车·km 计。
2. 日本 1989 年数据，仍为原日本国铁铁路范围内的资料。

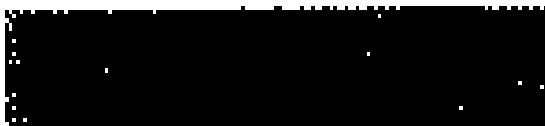
磁浮铁路 利用异性相吸、同性相斥的电磁感应原理,以直线电动机驱动车辆,运行时车体悬浮或吸浮于导轨上面,并保持一定间隙的铁路。磁浮电路用于客运,尚处于试运行阶段。(参见彩图插页第 21 页 66 图)
独轨铁路 城市交通工具之一,用于客运,中等运量,车辆(电动机组)在一根导轨上运行。

直流电气化铁路 电力系统供给交流电,经牵引变电所降压、整流后再供给直流电力机车。优点:①对沿铁路通信的干扰影响较小;②直流电力机车构造比较简单,可利用性能良好的直流串励牵引电动机,运行可靠。缺点:①由于受牵引电动机端电压限制,直流接触网电压不会太高,接触导线电流大,接触网结构复杂;②牵引变电所的整流装置结构复杂;③由于接触网电压受限,为了保证电力机车弓上最低允许电压,牵引变电所数量增加;④电力机车功率受到限制;⑤存在迷散电流,对地下金属构筑物腐蚀严重。
交流电气化铁路 又可分为以下几种:①三相交流电气化铁路。优点:利用电力系统的三相交流电比较方便。缺点:接触网与轨道需构成三相网络,结构

复杂。三相交流电气化铁路出现于 20 世纪初,但未得到广泛采用,②单相低频交流电气化铁路。优点:接触网电压可以提高,结构较简单;牵引变电所间距大,数量少;电力机车比较简单。缺点:不能直接与其他供电网连接,牵引变电所需增设变频设备,或专设低频电力系统。这种铁路出现于 20 世纪初期,在西欧部分国家被采用,频率为 25、16⅔ Hz。由于受当时电机制造水平限制,采用低频是为了减轻牵引电动机的换向负担。③单相工频交流电气化铁路。优点:接触网电压高,牵引变电所数量少,而且结构大大简化;可以与电力系统直接衔接,统一供电;电力机车功率大,且结构简单,可以充分发挥电力机车的运输能力。缺点:对铁路沿线的通信干扰比较大,产生的高次谐波、负序电流对电力系统和用电设备安全造成不良影响。单相工频交流电气化铁路出现于 20 世纪 30 年代中期,是一种先进的制式。随着现代科学技术的飞速发展,新型 AT 供电方式(见电力牵引 AT 供电方式)、交流-直流-交流变频调速系统的应用,使通信干扰等问题得到基本解决,所以单相工频交流电气化铁路是 20 世纪 90 年代以来几种制式的电气化铁路中发展最快的一种。

表 2 中国电气化铁路里程 (1992 年)

线路名称	起迄地点	营业里程(km)
总计		8434.1
宝成线	宝鸡—成都	668.5
成渝线	成都—重庆	504.6
贵昆线	贵阳南—昆明西	644.1
陇海线	郑州—兰州西	1181.6
湘黔线	怀化—贵定	378.8
黔桂线	贵阳—贵定	75.8
川黔线	小南海—贵阳	424.5
京包线	沙城—大同	252.7
丰沙线	丰西—沙城	106.2
丰双线	丰西—双桥	36.6
京秦线	双桥—秦皇岛东	290.1
京山线	秦皇岛—山海关	15.6
石太线	石家庄—太原北	243.0
太焦线	月山—长治北	152.2



续表

线路名称	起 迄 地 点	营业里程 (km)
襄 渝 线	老河口东—达县, 重庆西—上桥	600.4
汉 丹 线	襄樊—老河口东	54.8
阳 安 线	阳平关—安康东	356.7
北同蒲线	大同—太原北	336.1
鹰 厦 线	鹰潭—漳平	513.3
京 广 线	柳州北—韶关, 郑州北—武昌南	698.5
大秦线	韩家岭—大石庄	388.8
兰 新 线	兰州西—武威南	281.0
其 他		230.2

简史 世界第一条试验性的电气化铁路 1879 年 5 月 31 日在德国的柏林, 由西门子公司和哈尔斯公司建成。当时电力机车采用直流串励电动机, 容量 2.2 kW, 由设于铁路一侧的钢轨(称第三轨)供电, 电压 150 V, 总重 954 kg, 列车载客 22 名。1881 年法国在巴黎国际电工展览会上展出了本国第一条由架空导线供电的有轨电车线路。这条长 500 m 的试验线, 因其比第三轨供电更安全, 为提高电压和采用大功率牵引电动机创造了条件。以后, 随着电机、电器工业的发展, 电工技术的进步, 电气化铁路首先在城市交通及工矿企业运输中得到应用, 20 世纪初开始应用到干线铁路上来。中国第一条干线电气化铁路宝鸡至凤州段于 1961 年 8 月 15 日建成通车。实践证明, 电气化铁路具有运输能力大、速度高、运营费用低、能合理利用能源、有利于环境保护和改善劳动条件等优点, 已被许多国家列为铁路技术现代化的发展方向, 在铁路向高速、重载发展过程中, 大部分采用电气化铁路。

(黄乃勇 吴天汉)

dianqihua tielu jichuwang

电气化铁路接触网 (over head contact line of electrical railway)

沿电气化铁路架设的向电力机车车辆供电的线路。电气化铁路接触网用于向机车车辆受流装置供电, 因而要求接触网具有良好的弹性、不间断供电以及耐磨性和抗腐蚀性。一般电气化铁路的接触网为架空柔索式, 由接触悬挂、锚段、支持装置、支柱设备等组成, 如图 1 所示。

接触悬挂 通常系指接触线、承力索、吊弦等组成的馈电网络(见图 1), 接触线经吊弦悬挂在承力索上, 但简单接触悬挂不设承力索及吊弦, 而将接触线直接固定在支持装置上。(参见彩图插页第 22 页 68 图)

接触悬挂 中直接与机车车辆受电弓接触并向机车供电的导线称为接触线, 又称电车线。它为异形截面(见图 2), 由铜或铝、铝合金等材质冷拉成型。由于机

车车辆运行时接触线与受电弓直接接触, 处于摩擦状态, 为保证受流质量, 接触线性能除必须满足导电要求外, 还需具备足够的机械强度与耐磨性、耐腐蚀性。电气化铁路干线多用 100 mm^2 以上截面的接触线, 而支线、站场侧线、编组场线等多用 85 mm^2 截面的接触线, 在高速、重载线路及要求大电流的干线上将采用大截面的接触线。

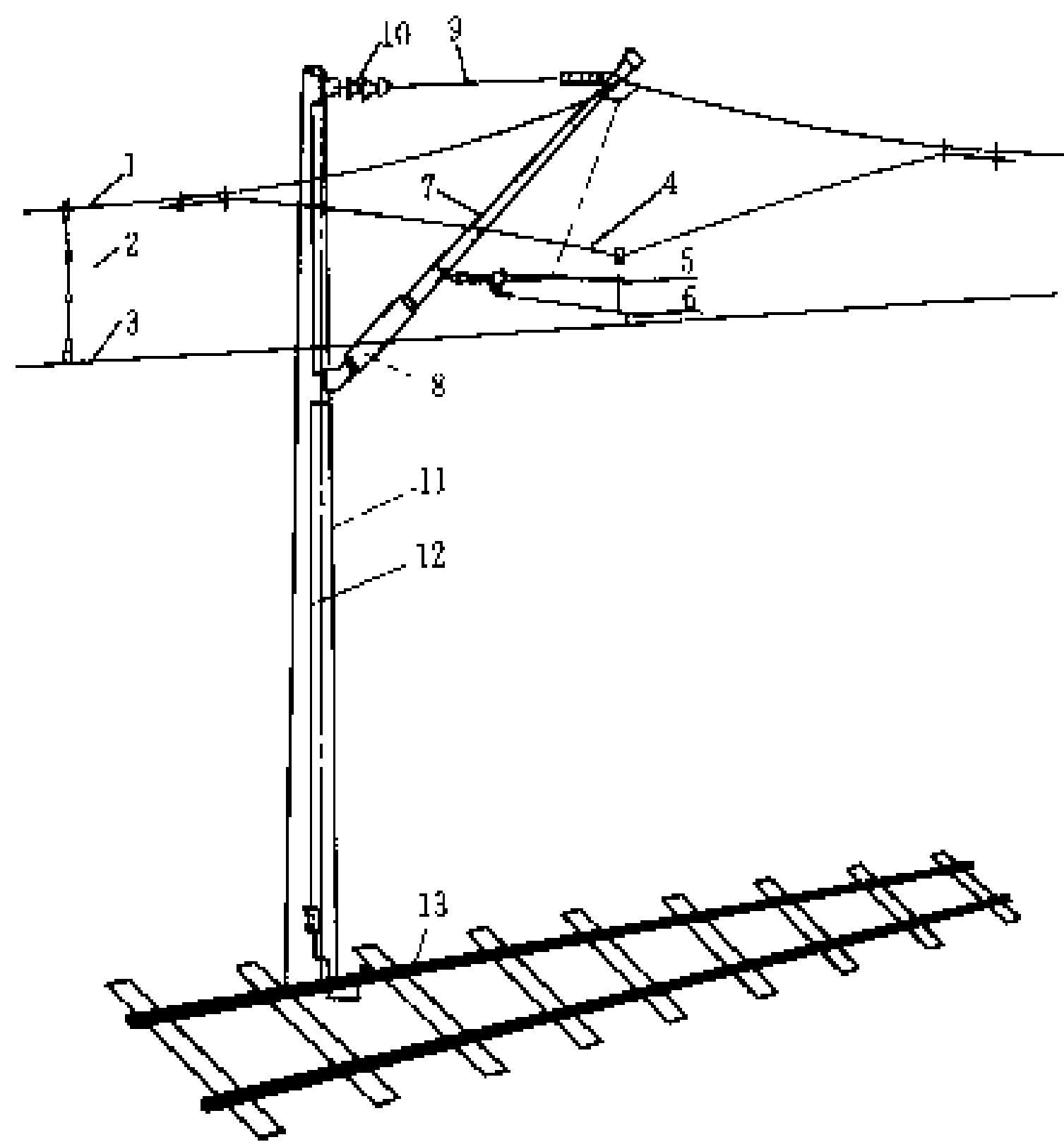


图 1 接触网组成示意图

1—承力索; 2—吊弦; 3—接触线; 4—弹性吊弦; 5—定位管; 6—定位器; 7—腕臂; 8—棒式绝缘子; 9—水平拉杆; 10—悬式绝缘子串; 11—支柱; 12—接地线; 13—钢轨

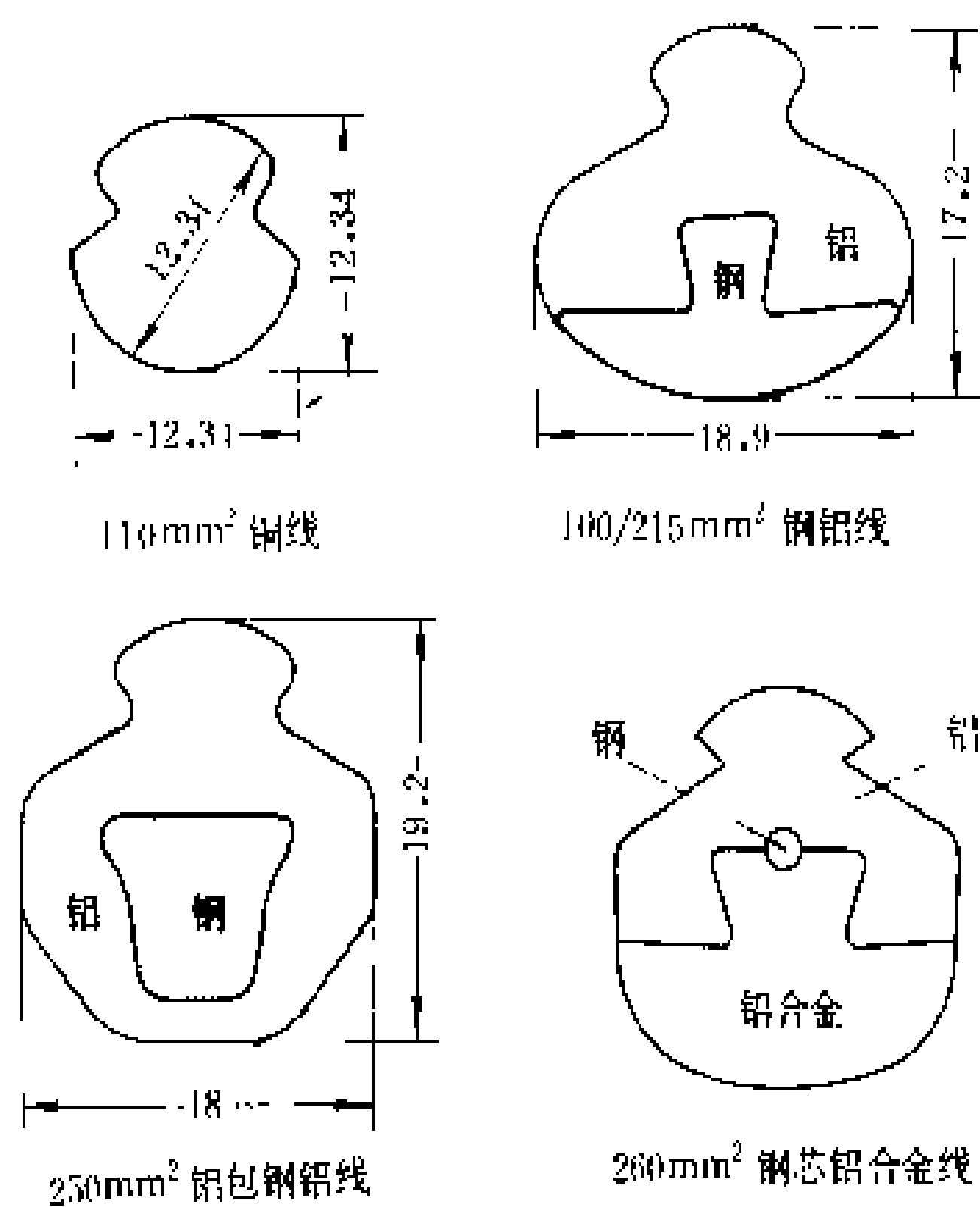


图 2 接触线截面形状

接触悬挂与电力机车车辆供电、受流有直接关系, 为适应行车要求, 必须保证在最恶劣的气候条件下, 电力机车车辆以线路允许的最高速度运行时能良好地受

流。为此,接触悬挂应具备下列性能:①弹性均匀。在受电弓相同压力作用下,接触线各点的升高应尽量相等。②稳定性好。当电力机车车辆通过时,接触线与受电弓滑板保持良好接触,不得超出受电弓允许的工作范围。③耐磨耐电弧性能好。接触线与受电弓滑板间的相对磨损应尽量小,一旦受电弓离线产生拉弧现象时,仍能维持正常运行。

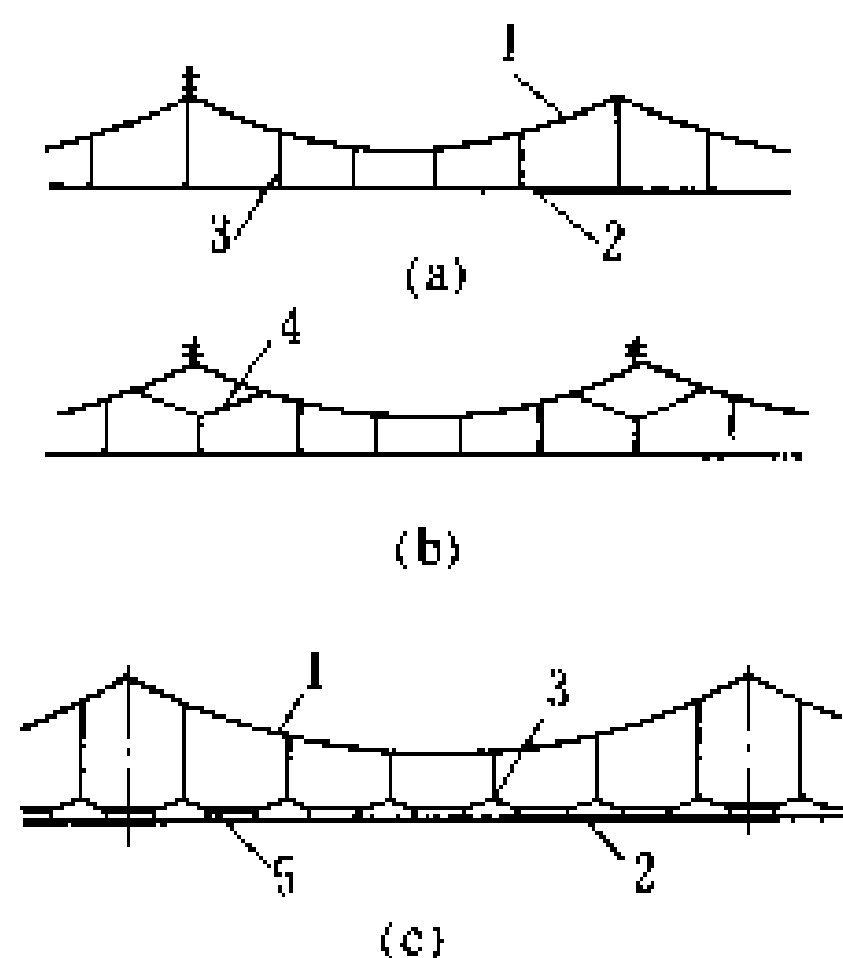


图3 链形悬挂

(a) 简单链形悬挂; (b) 弹性链形悬挂; (c) 复链形悬挂

1—承力索; 2—接触线; 3—吊弦; 4—弹性吊弦; 5—辅助承力索

接触悬挂按结构的不同分为简单悬挂、单链形悬挂(简称链形悬挂)、双链形悬挂和多链形悬挂。其中以链形悬挂采用最广。链形悬挂按支柱处采用吊弦的不同,分为简单链形悬挂、弹性链形悬挂和复链形悬挂(见图3)。

锚段 为了满足电气及机械性能的要求,接触悬挂每隔1500~2000 m 需要进行分段。每一独立分段称为锚段。锚段两端的接触线及承力索分别在支柱上下锚。接触悬挂设置锚段后

可以提高供电灵活性;缩小事故范围;在下锚处加张力自动补偿装置,可减少接触线弛度,提高供电质量。

相邻两个锚段互相衔接的部分称为锚段关节。当电力机车车辆通过时,锚段关节应保证受电弓从一个锚段平滑地过渡到另一个锚段。

支持装置 支持接触悬挂的构件,有腕臂装置、软横跨、硬横跨等。

(1) 腕臂装置。图4为采用最多的直线中间柱腕臂装置,主要由腕臂、拉杆、定位器等组成。图中腕臂的一端悬吊接触悬挂,并与拉杆相连;腕臂及拉杆的另一端装有绝缘子,经底座固定在支柱上,以底座为轴心沿线路方向转动。人们将这种腕臂称为绝缘旋转腕臂。腕臂一般用型钢或钢管制成,拉杆则多采用圆钢或钢管。定位器由钢管或铝合金制成。

(2) 软横跨。由横向承力索及定位绳组成的支持装置用于悬吊多支接触悬挂,如图5所示。横向承力索及定位绳采用双金属线或钢绞线,可用1根,也可用2根,固定在线路两侧的支柱上。绝缘子串根据需要增减。

软横跨结构轻巧,安装方便,弹性较好,但稳定性较差,支柱高度及容量较大,主要用于股道较多的站

场,跨越股道数一般不超过8股。

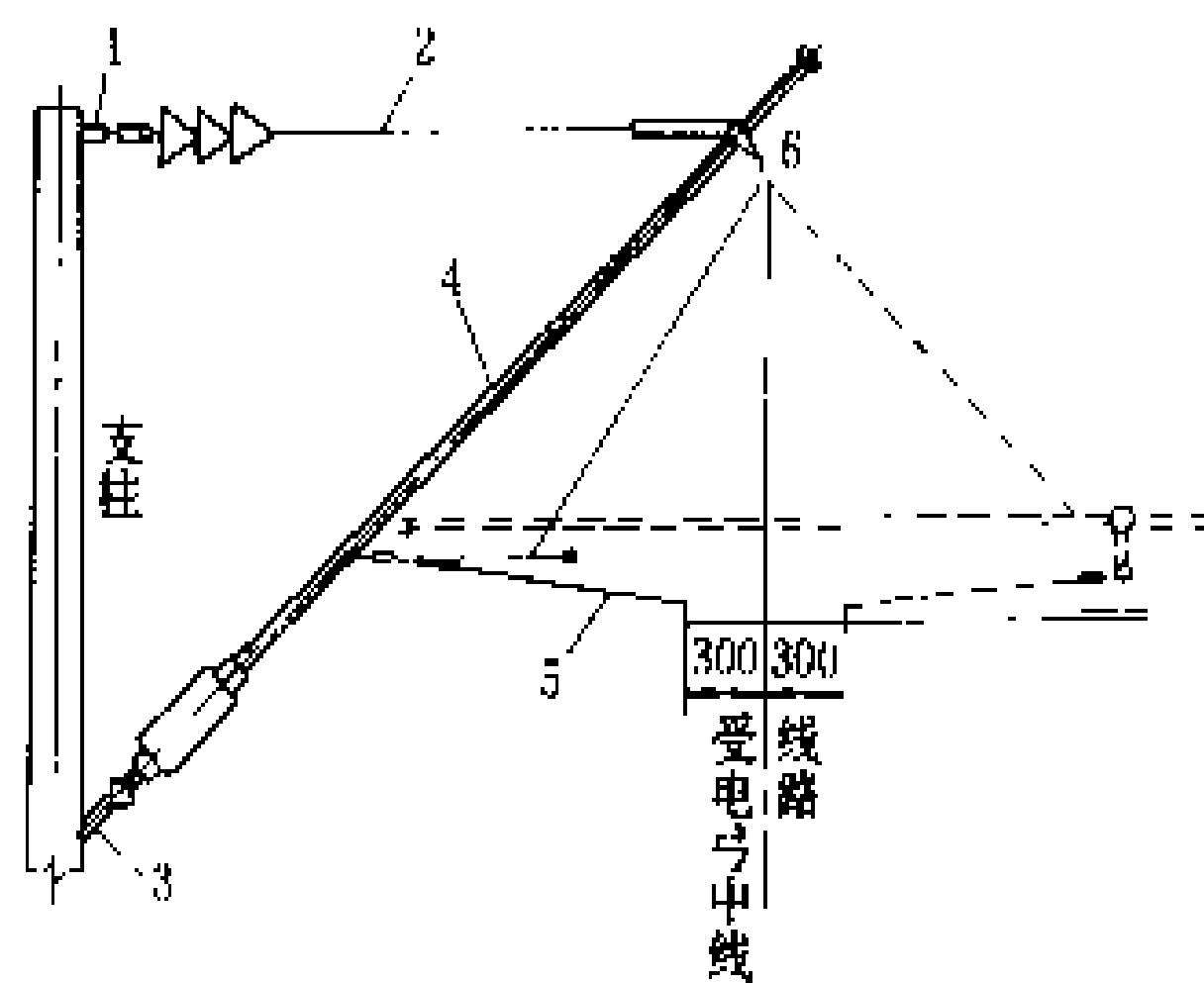


图4 直线中间柱腕臂装置

(虚线部分用于反定位)

1—拉杆底座; 2—拉杆; 3—腕臂底座; 4—腕臂; 5—定位器; 6—承力索

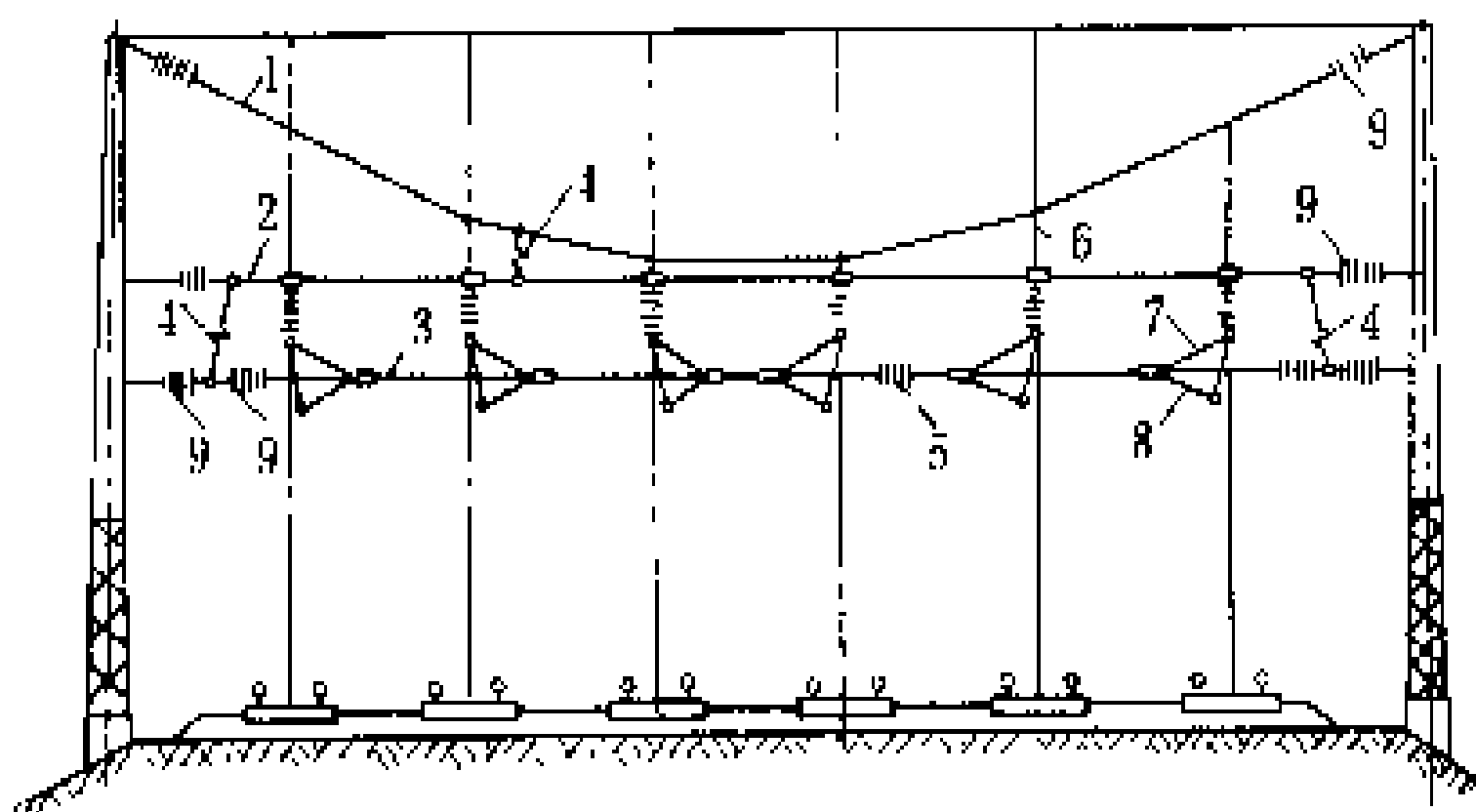


图5 双绝缘软横跨

1—横向承力索; 2, 3—上部与下部定位绳; 4—电连接线; 5—分段绝缘子; 6—吊弦; 7—定位器吊弦; 8—定位器; 9—绝缘子

(3) 硬横跨。由硬横梁组成的“门”型支持装置,硬横梁固定在线路两侧的支柱上,适用于悬吊多支接触悬挂,如图6所示。硬横跨稳定性较好,但跨越股道数多时结构复杂,主要用在车站及多线桥上。

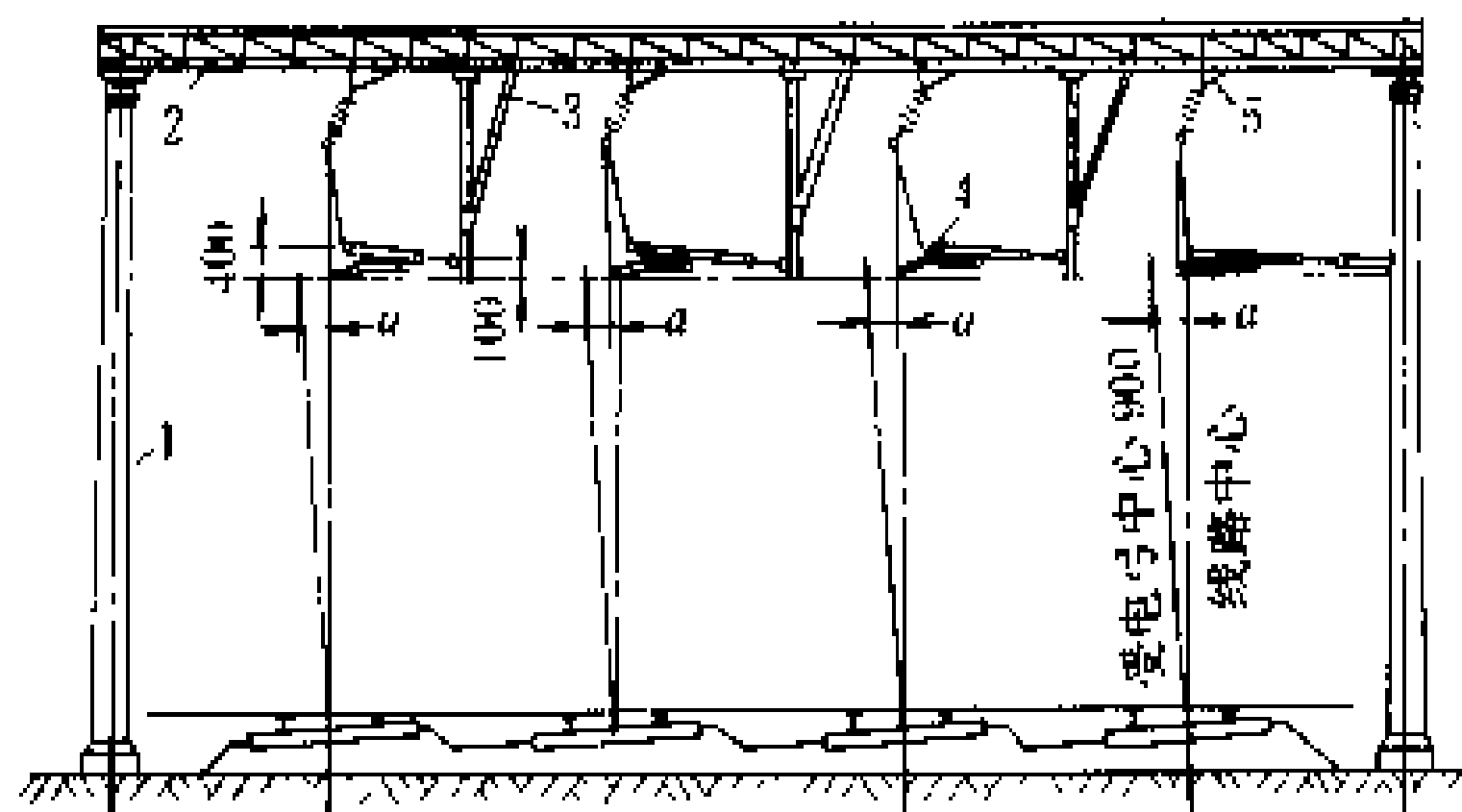


图6 带定位支架的硬横跨

1—支柱; 2—硬横梁; 3—定位支架; 4—组合定位器; 5—三角吊索; a —接触导线“之”字值

支柱设备 包括支柱和基础。接触网支柱有钢柱和预应力钢筋混凝土柱两大类。钢柱可用角钢、槽钢或

工字钢制成，一般重量较大，安装时需另设基础。预应力钢筋混凝土柱截面有工字形及环形两种。前者钢筋利用比较充分，但生产、运输比较困难；后者制造、运输比较方便，但钢筋利用不够充分。钢筋混凝土柱为整体式，安装时不需另设基础，仅加底板，有时加横卧板。

参考书目

K. Г. 马克瓦尔特, И. И. 符拉索夫. 接触网, 赵则富, 白山译, 北京: 中国铁道出版社, 1986
(白山 商福崑)

dianqihua tielu jiedi wang

电气化铁路接地网 (ground net of electrical railway) 为牵引变电所(见电力牵引变电所)接地装置的主要组成部分,由接地线(或接地体)组成网路。变电所通常采用统一的接地网,即将变电所内设备所有需要接地的部分,用接地线统一接到一个接地网上,当有短路故障时,以保证设备及人身安全。接地网结构分为复合接地网(由垂直与水平接地体构成)与水平接地网(只有水平接地体)两种型式。

接地网可直接或经保安器与变电所牵引变压器牵引侧的一个端子相连(见图1),取消保安器时则为直接连接。 r_g 为接地网对地电阻, r_x 为钢轨泄漏电阻。

作用和原理 接地网直接与变压器连接时,正常情况下,牵引电流返回变电所可经过钢轨及接地网两条通路。接地网能耗较小,短路时能迅速检出故障,保证设备及人身安全。但因正常情况下接地网中有电流通过,而接地网自身不存在接地电阻,因而形成对地电压。该电压通过接地线又加到变电所内其他有关设备上,使得这部分设备正常时出现带电的情况,对安全有一定的影响。

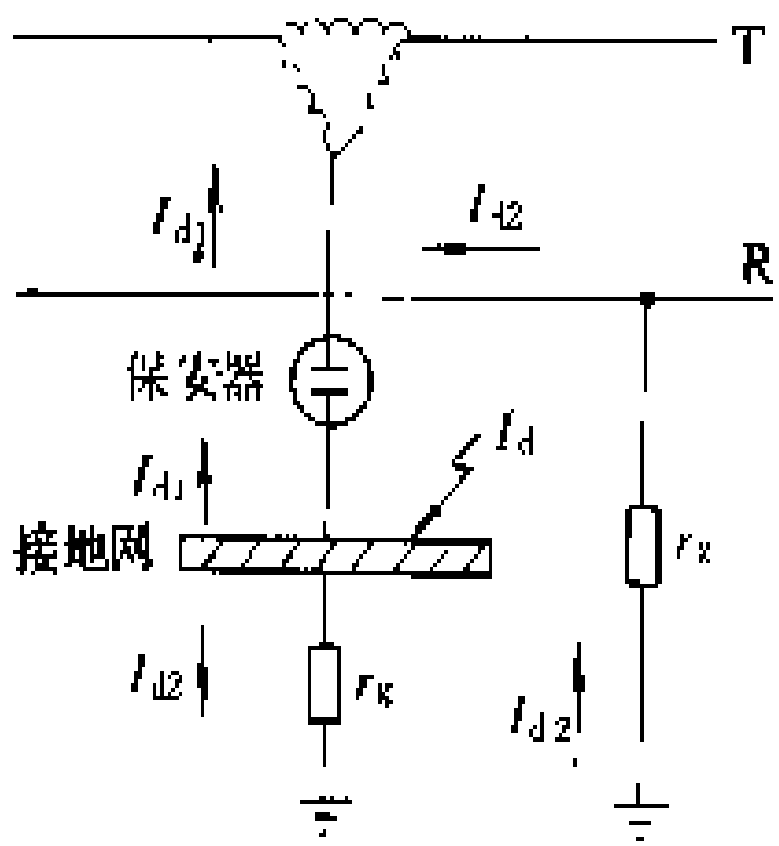


图1 接地网与保安器及变压器连接图

接地网经保安器与变压器相连时,正常状态下保安器处于开断状态,牵引电流返回变电所只经过钢轨,接地网中没有电流,变电所内有关设备不会出现正常带电的现象,对安全有利。当发生接地故障时,由于大量短路电流经接地网入地,接地网出现瞬时高电压,该电压加到保安器的两端,使保安器迅速被击穿,接地网与变压器之间的电路接通,接地故障迅速检出,保证了人身及设备的安全。

接地电阻 接地装置与大地之间的电阻,是形成

接地网对地电位的主要参数。对接地电阻的要求及计算方法为:①牵引变电所发生接地故障时,接地网对地电位的升高不得超过人身及设备安全允许的限度;②当向牵引变电所供电的电力系统采用中性点直接接地方式时,接地电阻可按式确定

$$r_g \leq \frac{2000}{I_d}, \Omega$$

式中 I_d 为入地短路电流。

从安全考虑,接地电阻应越小越好,但接地电阻 r_g 过小必然造成经济上的不合理。实际接地电阻的目标值可取 $0.5 \sim 1.0 \Omega$;当向牵引变电所供电的电力系统采用中性点不接地方式时,接地电阻的目标值可取 5Ω 。

保安器 电力牵引接地装置中采用的一种主要元件,又称漏电电流动作保护器。它串接于接地线(接地网)中,按其允许动作次数,保安器分为一次型及多次型。一次型保安器为一简单的石墨电极间隙,放电电压 $3 \sim 5 \text{ kV}$,放电电流 $2 \sim 3 \text{ kA}$,间隙击穿一次后需进行检修才能继续使用。牵引变电所常用多次型保安器,其工作原理如图2所示。图中 G 为金属球隙, K 为旁路开关, C 为电容器电容。 K 与 G

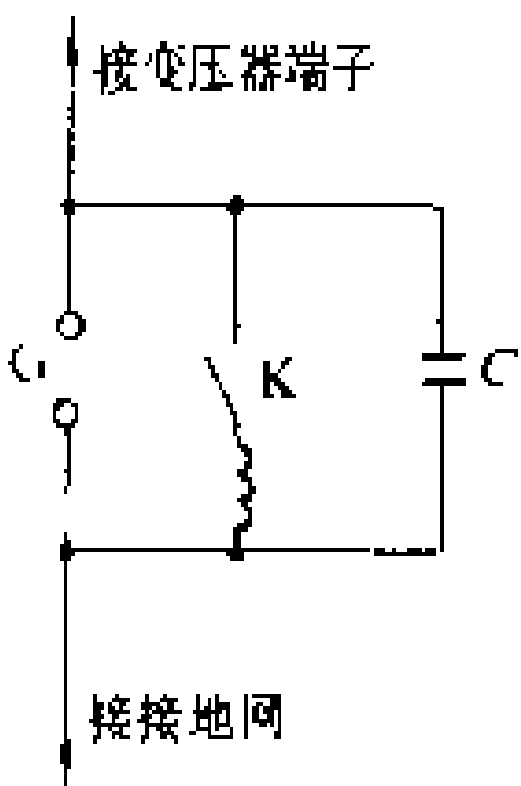


图2 保安器工作原理

正常处于开断状态,将接地网与变压器分开,因此牵引电流不能经过接地网返回变电所,这对改善通信干扰及正常情况下保护人身、设备的安全十分有利。当发生接地故障时,因有大量短路电流经接地网入地,对地形成高电压,该电压经钢轨加在金属球隙的两端, G 被击穿,此时流经 G 的电流使 K 励磁闭合, G 中电流减少,直至恢复原状, K 又开断。上述的 G 被击穿, K 闭合的过程使接地网起到接地保护作用。多次型保安器放电电压 5 kV ,放电电流可达 5 kA 。图中电容 C 用于吸收和释放瞬间冲击电压,防止误动作。

(白山 商福崑)

dianqi shebei fanghuo

电气设备防火 (flame retardant of electrical equipment)

电气设备的过热和发生电弧或电火花等引起的火灾称为电气火灾。电气设备的绝缘,大多采用易燃物如绝缘纸、绝缘油等组成,在运行中导体通过电流会发热、开关切断电流会产生电弧、电气短路或接地故障及设备损坏等可能产生电弧及电火花,所有这些都可能导致周围的易燃物引燃,而导致火灾。

电气火灾特点:①发生电气火灾后,电气设备可能

仍然带电,在一定范围内存在着接触电压和跨步电压,灭火时如不注意或未采取适当的安全措施,就会引起人身触电伤亡事故;②发生电气火灾后,充油电气设备,如变压器、油断路器、电容器等受热,有可能喷油甚至爆炸,造成火灾蔓延并危及灭火人员的安全。

防止电气火灾措施主要有:①改善环境条件,在土建等方面采取措施,排除各种可燃易燃物质和易燃气体;②提高充油电气设备建筑物的耐火等级,对电气火灾危险场所的建筑采取隔离和遮阳措施;③提高电气设备本身的绝缘强度和耐火条件;④采取降温措施,避免电气设备产生过热;⑤限制电气设备或线路过载使用。

扑灭电气火灾注意事项:①扑灭电气火灾时,应根据起火场所和电气设备的具体情况,首先切断电源,再进行扑救,以防触电。②如情况危急或其他原因不允许或无法立即切断电源时,要进行带电灭火。带电灭火要采取有效的保安措施,防止发生触电和火灾引起的爆炸事故。灭火人员与带电设备应按规定要求保持足够的安全距离。③应使用不导电的灭火剂灭火,如干粉灭火剂等,禁止使用泡沫灭火剂灭火。

(陈金盛)

dianqi zhao ming

电气照明 (electrical lighting) 以电光源产生的光照亮物体及周围环境使其能够被视觉到的设施和技术。电气照明是电力事业最早开发的应用领域之一。

电气照明具有科学技术与艺术相结合的特点。在科学方面它吸收了物理学、电工学、电子学、建筑学、生理光学、心理学、人类工效学等基础学科的研究成果;在工程技术方面它综合应用光源、灯具、电气设备、建筑工程等专业技术和经验;在艺术方面,它遵守美学和色彩科学的各项基本原则。

简史 最早发明的电灯是碳丝灯。1879年10月,美国T. A. 爱迪生(Thomas Alva Edison)发明的碳丝灯构成了现代白炽灯的雏型。他预见到电灯的推广将会对社会进步产生巨大影响,亲自组织灯的生产并创办电力公司,增加电力供应,由此开辟了电气照明的新时代。

20世纪的前10年,英、美、德等国相继成立了照明学会。1913年国际照明委员会(CIE)成立,在光的计量标准和测量方法标准化方面展开了工作。

白炽灯发明大约50年以后,另一类新型的灯——气体放电灯问世。1932年出现的低压钠灯和1935年研制成功的高压汞灯应用于街道照明。1939年荧光灯投放市场,使照明发生巨大变化,并被称为第二代光源

的开端。荧光灯的光效和寿命比白炽灯高4~5倍,发光面大、表面亮度低,很适于工厂、商店、办公室的照明。荧光灯的出现使人们有可能以同样的能源和费用获得比白炽灯照明更高的照度水平,也促进了对照度标准、眩光评价和灯的显色性等许多照明应用问题的研究。

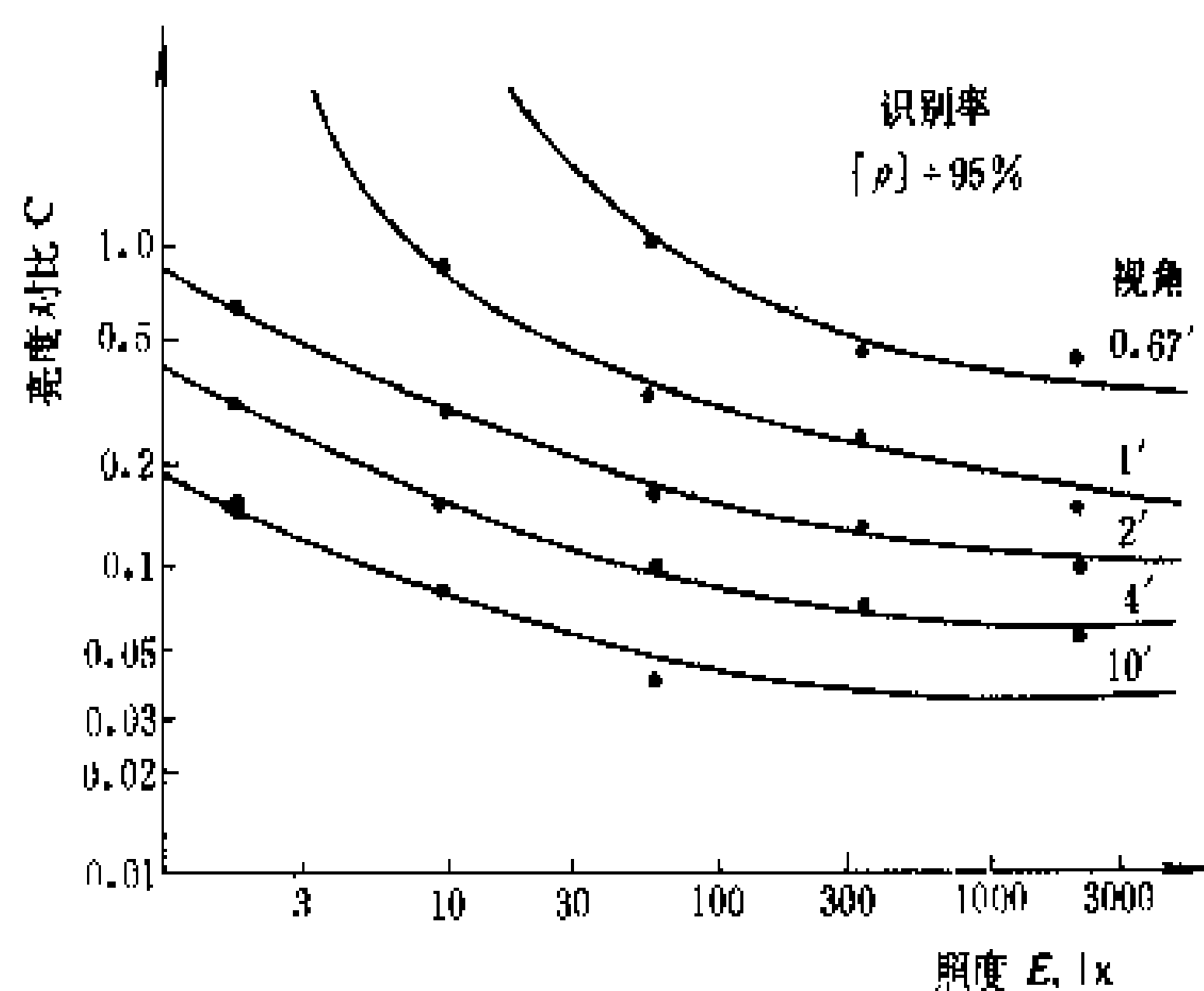
20世纪60年代中期,两种光效更高、寿命更长、输出光通量更多的新光源——金属卤化物灯(1964年)和高压钠灯(1965年)研制成功,标志着电气照明迈入高强度气体放电灯(HID灯)的新时代。

20世纪70年代中发生的世界性石油危机促进了照明节能产品的开发。1973年发现的发光效率与光的颜色俱优的三基色谱带荧光粉是对改善荧光灯性能的突破性进展。1978年用这种荧光粉制成直径26mm的细管荧光灯光效接近100 lm/W,显色指数达90以上。

80年代初又用这种荧光粉制成低色温紧凑型(compact)单端荧光灯。这种小功率(7~13 W)节能荧光灯的照明效果与白炽灯近似,而光效与寿命却高出5倍,优越性显著,将逐步代替白炽灯。与此同时,电子镇流器、电子控光设备开始进入照明领域;与空调设备相结合的照明器,与办公家具一体化的照明,使用HID灯的间接照明等节能照明方式也获得推广应用。

照明条件 人的视觉离不开光,而人眼对光的反应能够适应的亮度范围很广($10^{-6} \sim 10^6 \text{ cd/m}^2$),这样最佳的视觉工作需要具备一定的条件。研究照明的目的就是发现并创造这种最佳视觉工作条件。这种最佳视觉工作条件可以用照度、环境亮度、眩光限制、灯的光色质量等来衡量。

照度 眼睛辨认细节的能力和对亮度差别的感受能力在一定范围内都随照度水平的上升而提高。图示中国青年工人的视觉功效曲线表明,为达到一定的视觉作业速度和精确度,作业尺寸越小,亮度对比越差,



中国青年工人的视觉功效曲线



就需要越高的照度。一般认为工作照明的理想照度为 500~1000 lx, 但作为设计标准还要考虑经济和能源供应的因素。

环境亮度 人眼有向光的特性, 它自然地被明亮光线所吸引, 所以, 作业对象应当置于视野中最亮的部位。另一方面, 人的视野很广, 进入视野的周围作业环境的亮度将对眼睛的适应亮度水平产生影响。此外, 在长时间连续工作的情形下, 眼睛需要短暂休息, 这时人的视线会从作业对象上移开。如果环境亮度与作业亮度差得太大, 就容易造成视觉不适, 导致视觉疲劳。在工作环境中, 作业对象、贴邻环境(如桌面)和外围环境(如顶棚、墙、地面)的平均亮度保持在 1:1/3:1/10 范围以内为宜。

眩光限制 无论是不舒适眩光还是失能眩光, 都是破坏视力、降低视觉功效的有害因素, 需根据工作性质和环境条件, 程度不同地进行控制。

灯的光色质量 气体放电光源的相对光谱功率分布与日光灯或白炽灯很不相同, 因而在灯的色表和显色性方面有着明显的差异。选用气体放电灯作照明光源时要特别注意它们的光色质量。(见显色指数)

照明应用 根据照明功能和照明方法的特点, 将照明应用领域分为: 室内照明、室外照明、道路交通照明以及其他非视觉照明。

室内照明 建筑物内部的照明。每一类建筑物都包含用途不同的各种房间, 就其照明而言, 它们则属于工作照明、陈列照明、休息娱乐照明、医院照明、室内运动照明和交通区照明中的一种或几种的组合。

(1) 工作照明。办公、生产、学习等工作房间照明的主要目标是按照其视觉作业的特点为工作区提供良好的视觉条件; 其次要为使用人创造一个有益于提高工效和增进健康的视觉环境。

(2) 陈列照明。主旨是获得引人注目而且重点突出的展示效果, 把展品的优点充分表现出来。陈列照明适于采用变动灵活的照明设备, 如导轨灯、点射灯, 同时注意展品、观众和光源的相对位置, 避免对观众或顾客产生镜象反射和眩光; 在博物馆和美术馆中, 还应特别重视灯的显色性能, 以防止过强的光辐射(特别是紫外辐射)造成展品褪色或老化。

(3) 休息娱乐照明。供居住、娱乐、交谊活动的房间照明。视觉舒适和艺术气氛是照明的主旨。

(4) 医院照明。照顾到医护人员和病人两方面的不同要求而设置的照明。照明光源的色表、显色性及周围环境的颜色无论对于保证正确诊断和治疗, 还是从减轻病人精神负担, 建立和谐平静的气氛以帮助病人康复来说都是重要的因素。

(5) 室内运动照明。应使运动员和观众都有良好

的视觉条件, 以便运动员在竞技中能发挥他们的速度和准确度, 观众观看比赛也不感到疲劳。在需进行电视转播或电影摄影的场合, 光源要有较好的显色质量(显色指数 $R_a \geq 65$), 比赛场地要有较高的照度 (≥ 1000 lx) 和照度均匀度 ($E_{\min}/E_{\max} \geq 0.4$)。最好用金属卤化物灯照明。

(6) 交通区照明。在门厅、走道、楼梯间, 照明主要用来判别走向和保证安全, 因此这些地方的垂直照度比水平照度更重要。居住人数众多的高层建筑和人员密集的大型公共建筑的交通区必须有供紧急疏散的独立的应急照明系统。

按照上述几类照明, 结合具体建筑条件(空间大小、结构形式、室内布局、建筑艺术风格等), 室内照明有一般照明、分区一般照明、局部照明、混合照明等不同的照明方式。

道路交通照明 确保交通安全, 提高道路和其他交通设施的利用率, 美化城市环境的照明, 包括道路照明和交通信号灯两部分。

(1) 道路照明。街道、公路、桥梁、隧道和交通枢纽的照明均属此类。道路照明以机动车辆司机行车时能迅速、准确地判别前方 60~160 m 范围内路面上的障碍物作为设计依据。1977 年国际照明委员会颁布道路照明推荐标准, 以平均路面亮度、路面亮度均匀度和阈限增量作为评价道路照明质量的指标。根据交通量大小、道路类型和环境亮度, 规定平均路面亮度值的范围为 0.1~0.2 cd/m², 路面亮度均匀度包括总均匀度 U_0 和纵向均匀度 U_L 。 U_0 系最小亮度与平均亮度之比, 其下限为 0.5~0.7; U_L 是指沿车道中心线上的最小亮度与最大亮度之比, 要求 $U_L \geq 0.4$ 。道路照明主要限制失能眩光, 指标为阈限增量 TI, 数值应在 10%~20%。多数现代道路照明均选用光效高、寿命长的光源和灯具。安装方式有灯杆悬排式、悬挂式和多灯组合式, 通常灯高 8~12 m, 间距 30~40 m。立交桥、街心广场、停机坪、港口码头、停车场等大面积露天场地, 宜采用将成组的投光灯集中装在高度 30 m 以上杆顶的“高杆照明”方式。隧道出入口内外要有一段过渡照明区, 使司机在行车过程中能自然地适应隧道内外强烈的明暗变化。

(2) 交通信号灯。道路交叉口、机场跑道、铁路车站、港口等处设有指挥交通、导航、调度用的各种信号灯, 它们是交通照明的重要组成部分。灯的大小、形状、数量、位置和灯光的颜色、发光强度、频闪周期等均有国际通用的专门规定。

室外照明 指道路交通照明以外的室外照明, 主要有工作场地照明、运动场地照明和城市夜景照明等几类。

(1) 工作场地照明。露天仓库、公共工程和建筑施工工地夜间作业的照明,采用投光灯或吊装式照明器,安装方便灵活,有时用可移式照明器。

(2) 运动场地照明。按照运动器材种类和特征、运动速度、场地规模和等级等因素,对不同类型运动场地规定不同的照度水平和照度均匀度。大型足球场采用四角高塔集中投光照明或沿场地两侧看台挑棚成带状设置投光照明。光源以金属卤化物灯为宜。

(3) 城市夜景照明。指有纪念性和艺术价值高的建筑物、公共工程(如法国的埃菲尔铁塔、中国南京的长江大桥等)的立面照明,配合公园、绿地、雕塑、喷泉、广告等的各种照明,起美化城市夜间面貌、渲染节日气氛的作用。这类照明的灯光配置主要根据照明对象的材质、颜色、形状、周围环境和要达到的艺术效果而定。照明位置和投光角度的选择非常重要,既要使照射对象的形体和艺术特征得到充分的表现,又要尽量隐蔽,不致对行人造成眩光。

非视觉照明 电光源(包括红外灯和紫外灯)在非视觉领域的应用正日益扩大。如农业上利用灯光加速温室植物生长,驱赶害虫,提高养鸡场鸡蛋的产量;在工业上利用红外辐射进行烘干,用紫外灯检漏和使油墨固化;在医疗保健方面以紫外线灯杀菌,用红外辐射和紫外辐射作保健照射和进行治疗;在摄影、复印、电影放映等实用技术方面的应用。

展望 重视照明质量和节能是电气照明的两大发展趋势。荧光灯、高压钠灯、金属卤化物灯的用量将逐年增加,白炽灯相对减少,一系列性能更好的节能灯还会涌现出来,更多的电子器件将进入照明工程。由于照明设计趋于充分考虑人对光的需求差异,并提供自我调节的可能,各类自动开关和调光系统的应用日益普遍。为了将大功率 HID 灯用于普通室内照明,导光装置和分光器件等高科技产品将引入照明领域。电光源在非视觉方面的应用还会逐步扩大。从世界范围来看,随着经济发展和生活水平的提高,预计照明消费水平将同步提高,而它在国民开支中所占比例,以及照明用电量占总发电量的比例却会逐步下降。

参考书目

R. G. Hopkinson. Lighting. Encyclopedia Americana, 1987

W. J. M. Van Bommel, J. B. de Boor. Road Lighting. Macmillan: London and Basingstake, 1980

(詹庆棠)

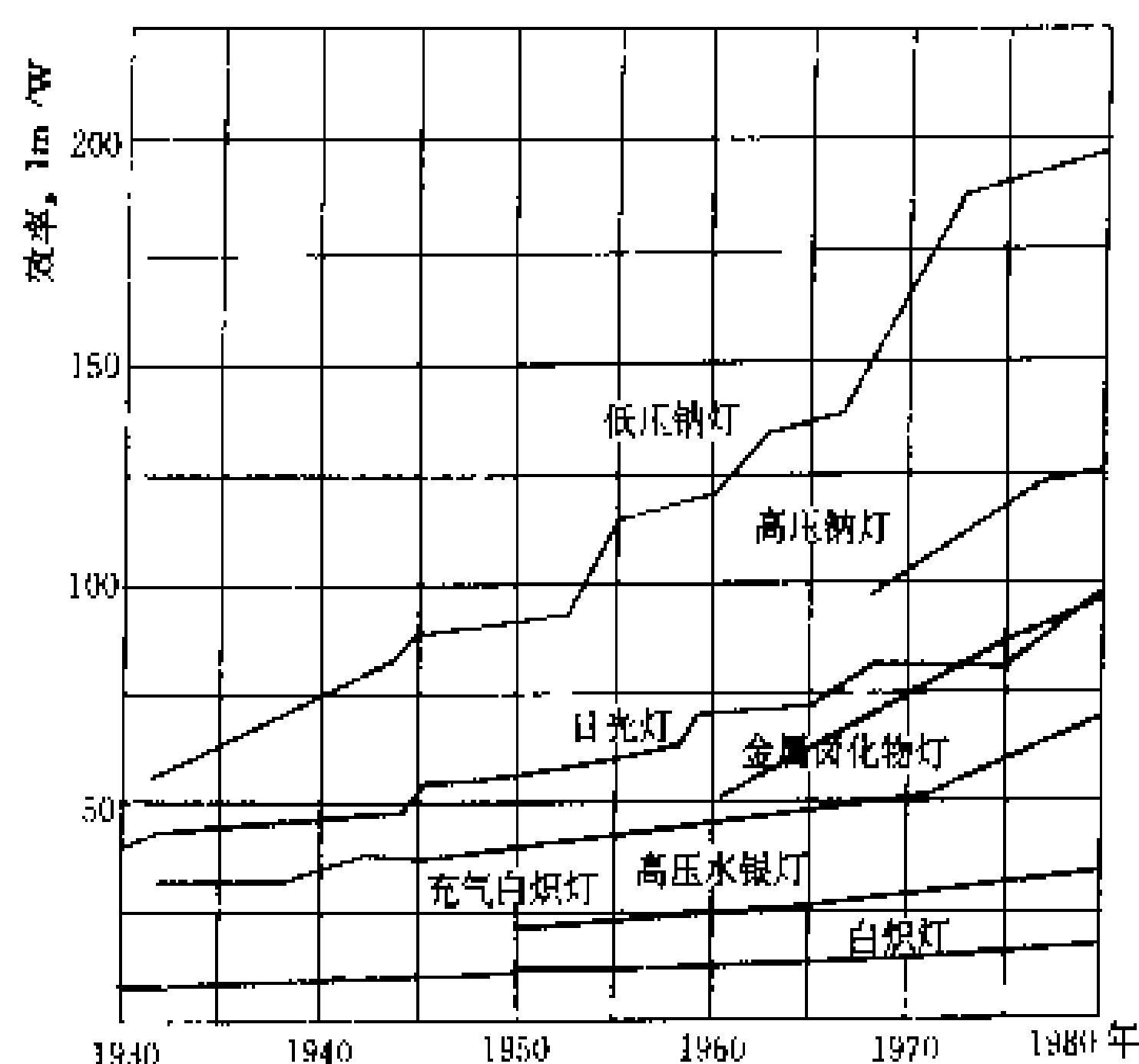
dianqi zhao ming jiejian jishu

电气照明节电技术 (light's technology saving electricity) 降低电气照明电能消耗的

措施与方法。电气照明是利用电光源将电能转换为光能的人工照明。它是电能最早的应用领域,至今已有百余年的历史。照明设备包括电光源和灯具(见照明器)。照明设备的单台功率普遍较小,虽社会的拥有量很大,但其总的耗电量占发电量的比重并不大,中国照明用电量约占发电量的 8%。照明节电的措施有:选用高效电光源、灯具及附件;合理地进行照明设计;合理地控制照明时间;充分利用自然光等。

选用高效电光源和灯具 在保证照明质量的前提下,降低照明用电量的根本措施就在于提高照明设备的效率,即提高电光源与灯具的效率。

(1) 合理选择高效电光源。近几十年来,电光源技术发展很快,产品种类繁多,功率最大的电光源为 200kW,功率最小的灯泡仅有 0.1W。电光源分为两大类,一类是热辐射电光源,如白炽灯、弧光灯、卤钨灯;另一类是气体放电光源,如荧光灯、高压汞灯、低压汞灯、高压钠灯、低压钠灯、氙灯、金属卤化物灯。选择电光源时,除满足照明场所对光源的显色性要求和有一定寿命外,从节能的观点上说,主要是选择发光效率高的电光源。20 世纪 30 年代以来,各种电光源发光效率提高情况如图所示。从图中看出,发光效率最高的是低压钠灯,可达到 200 lm/W;其次是高压钠灯,可达到 125 lm/W;白炽灯只有 15 lm/W。根据工作场所对照明的要求,选择显色性好、寿命长、光效高的电光源,可以取得明显的节能和经济效益。居民家庭采用三基式荧光灯替代白炽灯是目前世界各国推广的节电措施。



各种电光源的效率发展情况

(2) 合理选择高效灯具。灯具的作用是固定电光源,把光源发出的光能分配到需要的方向,防止光源引起的眩光,保持光源不受外力和外界环境产生的影响。灯具还具有装饰作用。灯具的选择,既要考虑视觉的要求,又要考虑使用环境的特点,同时还应满足装饰的需

要。在正常环境中宜选用开启型高效灯具,除特殊场合外,一般不宜选用效率低于 50%的灯具。不同效率的

灯具的照明效果见表。表中房间指数 $K=\frac{LW}{H(L+W)}$,

式中 L 为房间长度, m; W 为房间宽度, m; H 为光源到工作面的高度, m。

各种灯具的照明效果

灯具类型	镀铝反射镜		平面反射镜		透明棱镜		乳白反射罩	
效率(%)	78		67		64		50	
房间指数 K	1.2	3.0	1.8	3.6	1.8	3.6	1.8	3.6
照明率(%)	0.59	0.69	0.63	0.71	0.58	0.66	0.42	0.49

合理地进行照明设计 照明设计包括照明方式的选择、照度的选定、照明器选择等内容。不同的工作场所对电气照明有不同的要求,为了满足照明需要,就有不同的照明方式。照明方式分为:一般照明,即在整个场所或场所的某部分照度基本上均匀的照明;局部照明,即仅局限于固定的或移动的某一工作部位的照明;混合照明,即一般照明与局部照明共同组成的照明。选择照明方式时应注意:对照明方向和光照质量无严格要求的场所,宜选用一般照明,这样可以用大功率高效光源,以减少照明器数量,节省投资;对需要高照度有照射方向要求的场所,宜采用局部照明;对照度、光照质量、照射方向有不同要求的场所,宜采用混合照明。混合照明中的一般照明与局部照明的照度比最大不能超过 1:10。

适合工作视觉要求的照度,是保护视力、提高劳动生产率 and 产品质量的重要条件。世界各国对工作场所和工作面上的最低照度值均有规定,在确定照度时,可按工作场所和照明对象的不同,从规定中选取。

合理地控制照明时间 照明时间应根据需要掌握,随用随开,这是节电的一项有效措施。因此,对每一个照明设备应配置一个开关,同时再配以自动控制装置,这样就可按实际需要来控制照明时间、开灯数量,以消灭长明灯。如路灯可采用光电照明控制,楼道和走廊可采用光控、声控或延时自停开关等。

充分利用自然光 充分利用太阳光是实现照明节电的重要部分。在设计建筑物采光时,选择效率高、性能好的采光方式,是充分利用自然光的基础。在室内装饰时,采用反射系数高的装饰材料,以便有效利用自然光。此外,利用夏季光照时间长的特点,实行夏时制也是节约照明用电的一项有效措施。

对功率因数低的电光源,如气体放电光源,采用电容器进行无功补偿,对照明器定期进行清扫,对发光效率已劣化的电光源进行及时更换等,都是照明节电的

有效方法。

(蒋凤铎 徐纪法)

dianqi zhao ming she ji

电气照明设计 (electric lighting design)

综合电气照明和相关技术,科学合理地作出实施照明计划和方案的工作。照明设计的主要任务,是根据照明装置的使用情况、工艺要求、环境条件,在技术经济合理的条件下,作出实施电气照明的计划和方案。其最终成果应能体现:符合建筑功能和保护人们视力健康的要求;提高产品质量和劳动生产率;做到节约能源、技术先进、经济合理、使用安全和维修方便。

电气照明设计方案的形成,首先要研究设计对象的特征和它对照明的要求,而后确定照明设计标准,选择照明方式和照明设备,进行照度计算和经济分析,提出照明布置方案,并对照明装置进行电气和细部设计,最后检验照明方案是否符合设计要求。

照明设计种类 照明对象的种类繁多,根据照明对象的不同,通常把电气照明分为功能照明和艺术照明两大类,两者设计思想与手法不同。①设计思想不同。功能照明主要要求有适宜的照度或亮度,为人们提供一个良好的视看条件;艺术照明主要根据创造环境气氛的需要,讲求照明的艺术效果和研究照明心理方面的影响。②设计手法重点要求不同。功能照明需要足够的照度,照度应均匀分布,一般最小值和平均值之比应大于 0.7,要求减少眩光,光源的颜色和显色性要好,方案要求节能经济;艺术照明则不同,重点放在光环境的气氛创造方面,艺术照明的亮度是明亮还是昏暗,根据气氛要求确定,照度不一定要求均匀,均匀反面呆板,不一定要求限制眩光,有时还要利用眩光制造豪华气氛或特有的艺术效果,有时利用阴影塑造光造型,光的颜色也可用夸张手法利用特殊色彩制造不同的环境气氛,如珠宝照明必须用低色温的光,冷食店需用高色温的光,喷水池用彩色光等。这种照明虽然要求经济性,但往往服从艺术的需要。

按照照明场所的不同通常把照明分为室内照明和室外照明两大类。室外照明又可分为道路照明、广场照明、外景照明、投光照明、泛光照明、隧道照明、机场照明等。室内照明按应用场所分为工厂车间照明和民用建筑照明。按设计中经常遇到的场所又可分为工厂照明、办公室照明、宾馆饭店照明、体育场馆照明、博览场馆照明、商店照明、学校照明、住宅照明、剧场照明、医院照明、演播场所照明等。这些场所的照明设计则是研究这些领域中的照明方法,正确选用光源和灯具,设计室内表面装修方案,可以创造出既有



良好的作业可见度，又形成一个令人满意的视觉环境。

照明设计要求 按照设计对象、用途、工作性质以及其他要求而提出的任务进行电气照明设计。设计要求一般应考虑下述几方面：

- (1) 照度的适宜性；
- (2) 照度的均匀性；
- (3) 光源的光色和显色性；
- (4) 室内装修和光颜色的配合，环境亮度；
- (5) 眩光的限制应达到规定的指标；
- (6) 利用光的方向性体现材料的质感；
- (7) 灯具的装饰作用，与建筑物的协调；
- (8) 照明节能；
- (9) 维护管理是否方便。

照明设计评价 评价照明设计，要考虑评价照明效果的数量与质量指标，同时也要注意照明的经济性。

(1) 照明效果达到的水平，包括照度的高低，均匀性，眩光指标，光色满意程度，显色性达到的真实程度，布灯合理性，与建筑物的协调，美化环境的效果，心理效果等；

(2) 所需电气容量指标和电气设计的合理性、可靠性、灵活性与正确性。

照明设计阶段和步骤 一般分为初步设计和施工图设计两个阶段，是否每个工程都需要这两个阶段取决于工程的规模和复杂程度。比较简单的工程不必作初步设计，直接作施工图设计即可。

初步设计步骤如下：

- (1) 确定主要的照明方法并选定光源种类；
- (2) 确定供电方案和供电电源数量（1个电源或2个电源）；
- (3) 照明方式种类的确定；
- (4) 概算照明装置容量，常用灯数概算曲线法确定灯数并确定装置容量；
- (5) 选定照明设备和配电设备，估算线路造价最后列出总投资。

施工图设计阶段的设计步骤为：

- (1) 了解室内空间的构成；
- (2) 确定室内各部分视看要求的内容；
- (3) 配合有关视觉的要求提出实现方法的概要；
- (4) 对室内各部分照明及一般照明确定实施方案（即选择光源和灯具）；
- (5) 对照明方案进行计算和反复修正；
- (6) 灯具的配置（布灯）；
- (7) 电气网络设计，布线并选择电气设备及线路；
- (8) 方案的经济分析；

(9) 照明环境评价。

照明设计与建筑设计 电气照明设计和建筑设计关系十分紧密。照明设计既是科学又是艺术，光和色彩是显示建筑物空间的造型艺术。照明设计不仅需要电气照明工程师出色的构思，而且要有建筑师运用色彩和建筑造型艺术手法互相衬托才能收到不凡的效果。一个优秀的照明设计往往是建筑师与照明设计师互相配合，共同完成的。对建筑师来说，应当对电气照明技术和设备（光源、灯具、照明方式、照明设计方法与经济性等）有较全面的了解；对照明设计师来说，从一开始就应很好地理解建筑师的设计创作意图，了解对建筑照明的功能及艺术的要求，是侧重功能照明，还是侧重艺术照明，或二者兼顾。对一些大型建筑物的照明设计，利用模型试验是沟通建筑师与照明设计师的设计思想的一个比较有效方法。

照明与节能 照明水平要受经济水平和能源的制约，不同国家、地区或同一功能不同的建筑标准可能相差很多，人们必须按照当地的条件寻求最佳的符合实际的照明设计方案。因此，照明设计时，节能问题引起了设计者的高度重视。国际照明委员会（CIE）于1975年发表了照明节能的声明，对照明节能的指导原则与节能的方法措施及注意事项进行了比较全面的阐述。指导原则是既要考虑节能，又不能牺牲或降低照明质量，以达到最有效、最人道、最科学地利用能量。节能的方法与措施有以下方面：

(1) 照明设计时应分析视觉作业的难度性、持续性、危险性和位置，以便决定空间各处的照明要求，并把不同年龄及其他因素所引起的人的视觉差异考虑进去。

(2) 节能应依照现行的标准与规范设计照明，为视觉作业提供必须的照度。

(3) 选用发光效率高的照明光源的同时，应考虑对光源的显色性的要求。

(4) 选用的灯具应是高效率的，并具有与作业和照明环境相适应的发光强度分布特性，防止产生不适眩光和光幕反射。

(5) 使用较高的、实际可能实现的室内表面反射率，保证整个照明系统能得到最高的效率。

(6) 根据气候条件，把照明和供热空调系统结合起来，以节省制冷和供热所用的能量。

(7) 合理设计照明控制系统，使之在不需照明时可分区关灯或减少照明。

(8) 在合适而且空间条件允许时，把天然采光和人工照明结合起来，但要保证在视觉环境中不引起眩光或亮度的不平衡。

(9) 建立合理的照明维护管理制度，定期换灯和



清扫灯具与室内表面。

声明还指出,以上各点虽然主要是指室内照明,但一般原则同样适用于室外照明。

发展趋势 随着整个照明技术和建筑环境科学技术的迅速发展,人工光环境设计越来越引起照明工作者的重视,并逐步改变过去只考虑亮不亮或看不看得清楚的传统照明设计方法。设计时,重点将着眼于创造一个良好的光环境。

长期以来,电气照明是以工作面的照度作为标准进行设计的。为了提高室内外光环境的质量,设计中除使用平面照度指标外,在不少的国家开始采用平均球面照度和平均柱面照度,即空间照度指标作为照明设计标准。预计这一指标在今后的照明设计中将会进一步推广应用。与此同时,设计中对影响照明环境的质量因素,如视觉环境的亮度比、眩光、对比显现、光源的色表与显色性以及灯具的配光性能等均进行综合的考虑。

由于电子计算机在照明工程中的大量应用,智能已应用于办公自动化(OA)、工厂自动化(FA)和住宅自动化(HA)建筑中。作为建筑的一个不可缺少的照明部分的评价标准,设计内容与方法也都在发生深刻的变化。在智能建筑中的智能照明、供热、空调、通信及办公设备几乎都由电子计算机控制与管理。以办公室为例,过去观看对象以书面文字为主,现在则是计算机终端的荧光显示屏。因此,即使用电子计算机进行照明设计,即照明设计的CAD将是重要的发展趋势。此外,照明设计发展的另一趋势就是将大量使用新型照明光源、灯具、控光设备及材料等新的器材,从而以相同能量和投资,创造出更好的高效舒适的照明设计。

参考书目
日本照明學會編、屋内照明のガイド、東京電気書院、1978
唐庆旋、建筑光环境、北京:清华大学出版社、1988
(赵振民)

dianre kaishuiqi

电热开水器 (electric boiling water heater)

利用电加热方法提供饮用或生活用开水的厨房器具。大型电热开水器多用于宾馆、剧场、车站等公共场所以及医院、科研单位需要经常提供开水的地方。小型电热开水器多用于家庭。

电热开水器按其盛水有效容积可分为:5,10,15,20,25,30,40,90,135 L等多种不同规格。其功率为:2,3,4,5,6,7,10,15 kW等。

电热开水器可分为普通型电热开水器和自动控温

型电热开水器。

普通型电热开水器主要由箱体、控制室、电热元件、舌簧开关、带有磁钢的浮球、无缝导管等组成,如图1所示。箱体多用不锈钢制作。当箱内液位下降时,箱内的浮球下落,浮球中的磁钢使导管内的舌簧开关动作切断电源,以防止水烧干后导致烧坏电热元件和其他装置。电热元件装于靠近箱底的位置。电热开水器的温度控制比较严格。如果温度控制装置的动作温度低于沸水温度,水就不能成为沸騰水,不适宜饮用;反之,温度控制装置的动作温度高于沸水温度,则不能实现自动温度控制。

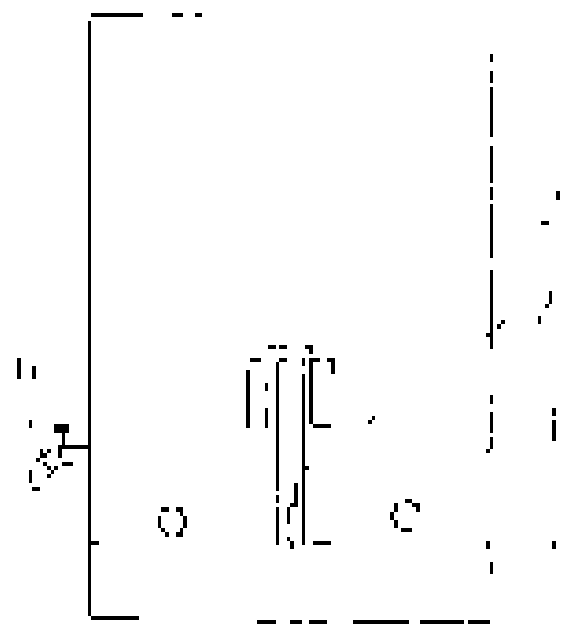


图1 普通型电热开水器的结构原理
1—箱体; 2—带有磁钢的浮球; 3—舌簧开关; 4—电热元件; 5—控制室; 6—开水出口管

自动控温型电热开水器的结构原理如图2所示。

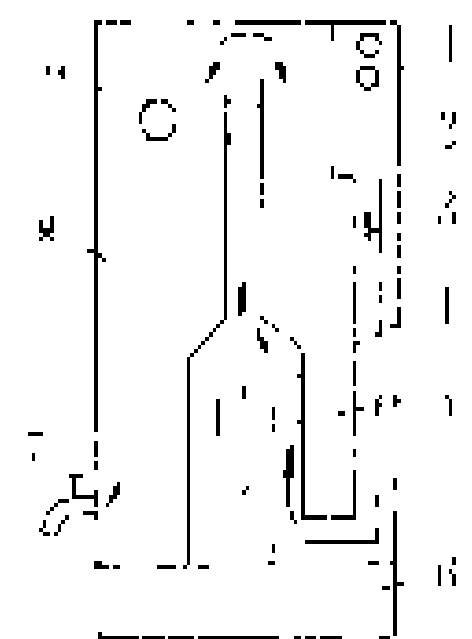


图2 自动控温型电热开水器的结构原理
1—冷水区; 2—箱体; 3—连通管; 4—沸腾腔; 5—电热元件; 6—控制室; 7—开水出水管; 8—开水储存室; 9—液体继电器

当开启出水管使用开水时,开水储存室内的水位即会下降,液位继电器根据液位的变化使电热元件自动接通电源。由图可知,沸腾腔小,冷水进入此腔很快被加热为沸水,沸水跳跃会冲出沸腾腔顶部落入开水储存室,同时,冷水不断向沸腾腔补充冷水,当开水储存室液面升到一定位置时,电热元件自动断电,停止加热。

自动控温型电热开水器装有玻璃管水位尺,因此,在第一次使用时,需等到水位尺的警界线有水后才能启动电键按钮,以防止因水量不足,而使电热元件通电后干烧,或因水浸不到电热元件所需浸没的位置而烧坏。

当接通电源按下电键时,自动电热开水器的加热红色指示灯会发亮,表示电热开水器进入加热状态;当加热至水沸时,红色指示灯亮会转换为绿色指示灯亮,电热开水器进入恒温状态,开水可饮用;当水温下降至90℃时,恒温器会自动使电热开水器转入加热状态,绿灯亮转变为红灯亮。

(时继功)

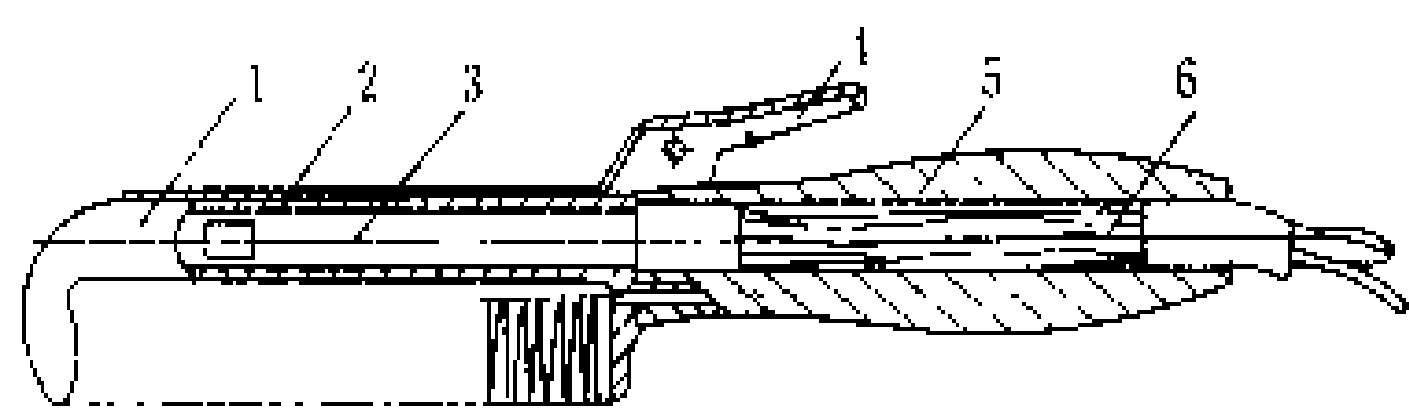
dianre shebei

电热设备 (electroheat installation) 见电炉。

dian 电

dianreshu

电热梳 (comb with electric heater) 依靠电热将湿发梳干并能实现卷曲造型的整容器具。电热梳从结构上可分为单用型(不带发夹)、兼用型(带发夹)和可换型(可更换头部,具有几种用途)等,使用较广泛的是兼用型内热式结构。这种电热梳主要由金属梳子、瓷质绝缘管、电热元件和夹钳组成。通电后,电热元件产生的热量传导到金属梳子上,梳子加热到适当温度后,即可梳干头发或将头发卷曲造型。一般非调温型电热梳加热温度随工作时间而升高,所以应小心使用,避免烫伤头皮。有的电热梳在金属梳齿上加装耐热塑料齿头,这样既可传导热量,又能防止金属齿高温烫伤头皮。新型调温或恒温电热梳,可防止温度过高,应用较方便。



电热梳的结构图

1—金属梳子;2—瓷质绝缘管;3—电热元件;4—夹钳手柄;5—塑料手柄;6—引出导线

电热梳电热元件功率为20 W左右,一般220 V交流电源即可使用。为保证安全,应选用带接地线的电热梳,通过三芯电源线,使外露金属件可靠接地。

(刘有常)

dianreshuiqi

电热水器 (electric water heater) 利用电加热方法提供生活用水的厨房器具。电热水器放在洗澡间,可作淋浴器使用,按加热方式分为:快热式(即热式),又称流水式,冷水直接流经电热元件表面而被加热,停止进水就停止加热;贮水式,利用电热元件将贮水箱中的冷水加热。

快热式电热水器有腔体式(图1)和水槽式(图2)两种。腔体式电热水器主要依靠橡皮膜的弹力来通断电源,冷水进入腔体后,借水流压力和重力使橡皮膜下凹,带动触头使电路接通,热水经通水管的小孔流入通水管内;无水进入时,依靠橡皮膜的弹力使触点断开,电路即被切断。水槽式电热水器主要依靠机电转换器来通断电源,当打



图1 腔体式电热水器原理图

开热水阀门,水流压力冲击机电转换器中的蝶形金属膜片,推动顶杆上升,使电路接通;无水进入时,蝶形金属膜片靠弹性恢复到原始位置而使电源断开。

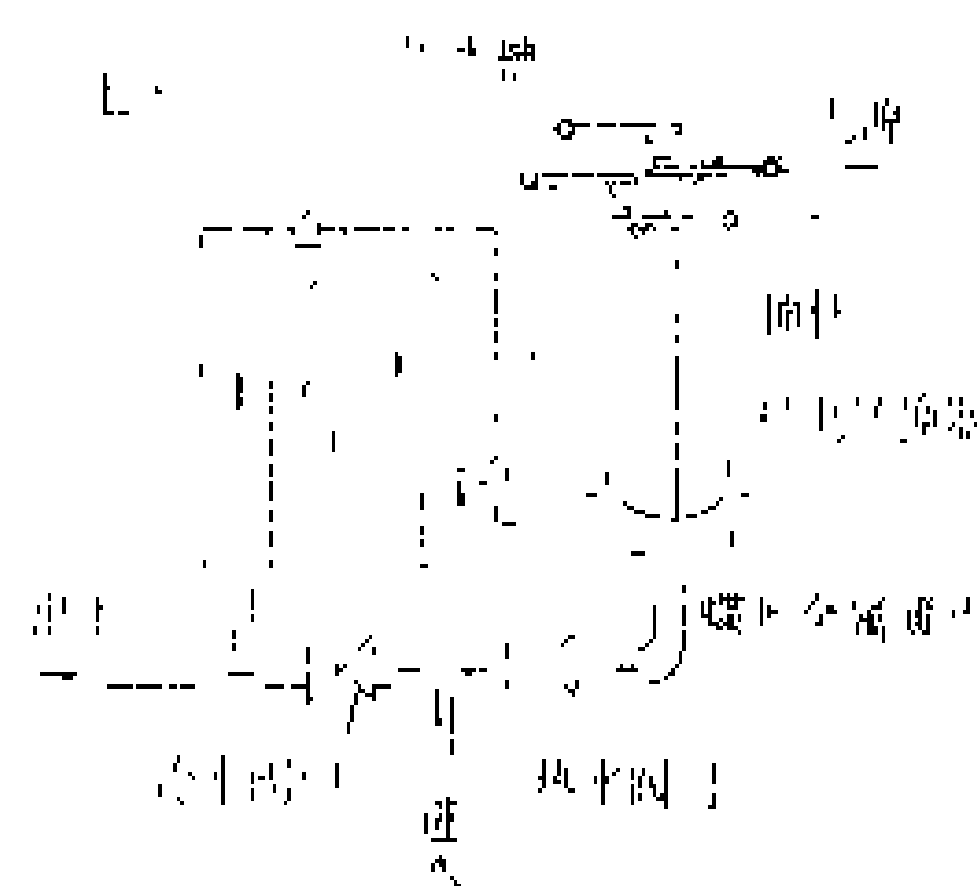


图2 水槽式电热水器原理图

贮水式电热水器容量较大,主要由水箱、电热元件、温度控制元件和压力保护装置等部分组成。电热元件多采用金属管式,温度控制元件常用热双金属片或感温包式控温器(又称毛细管型控温器),压力保护通过压力安全阀来实现。

电热水器的功率一般为900~7500 W。因电热水器耗电较多,各国均致力于节能型产品的开发,已出现将电热水器和太阳能热水器组配、电热水器和空气调节器组配的产品。

(陈祖勋)

dianretan

电热毯 (electric blanket) 一种接触式电暖器具。电热毯的软索式电热元件呈盘蛇状织入或缝入毯状织物里,通电时即发出热量。与电热毯工作原理和结构相近的还有电热垫。

通常按电热毯的控温性能分为普通型和自动调温型两大类。前者不带控温元件,使用者可按需要通断电源来控制温度;后者带控温元件,能自动使电热毯处于预定的温度范围内。电热毯也可按面积大小分为儿童型、单人型和双人型,电热功率依次增大,一般在60~120W之间。

电热毯所用的电热元件均为软索式,主要结构类型有:

(1) 不带信号线型电热元件(图1):用于普通型电热毯,使用的电热合金丝有直线状的,但更多的是呈螺旋状缠绕在耐热芯线上,外面涂覆一层耐热树脂。

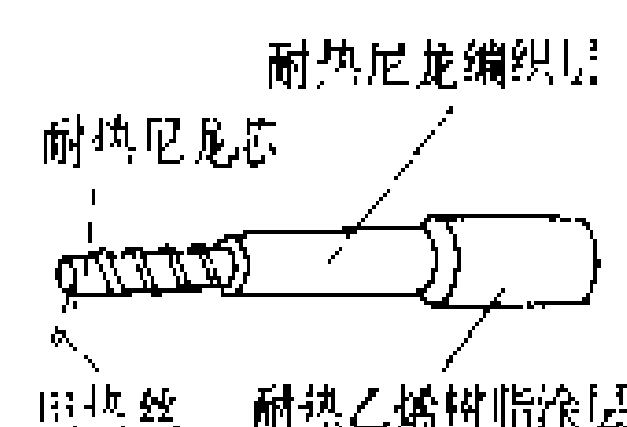


图1 不带信号线型电热元件

(2) 带信号线型电热元件(图2):用于调温型电热毯,线芯用玻璃纤维或涤纶丝编成,上面缠绕着柔韧的电热合金丝(或箔带),外面包敷一层尼龙感热层或特种塑料感热层,再将一种铜合金信号线绕在感热层外,最外面涂覆一层耐热树脂。当电热毯上任一点的温度超过预定值时,该处相应

的电热丝上的感热层即由绝缘线变为良导线，使控制电路接通，电热毯断电，达到控温和安全防护的目的。

采用不带信号线型电热元件的普通型电热毯，如要实现控温，一般设有两类控温元件：一类是过热安全恒温器，每床电热毯约需8~9个，串联在电热元件上，起安全防护作用；另一类是恒温控制器，设在床头或手边，起调节使用温度的作用。采用带信号线型电热元件的电热毯仅需恒温控制器。

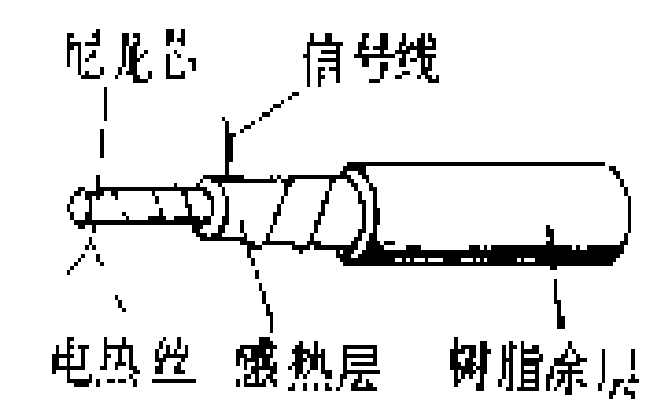
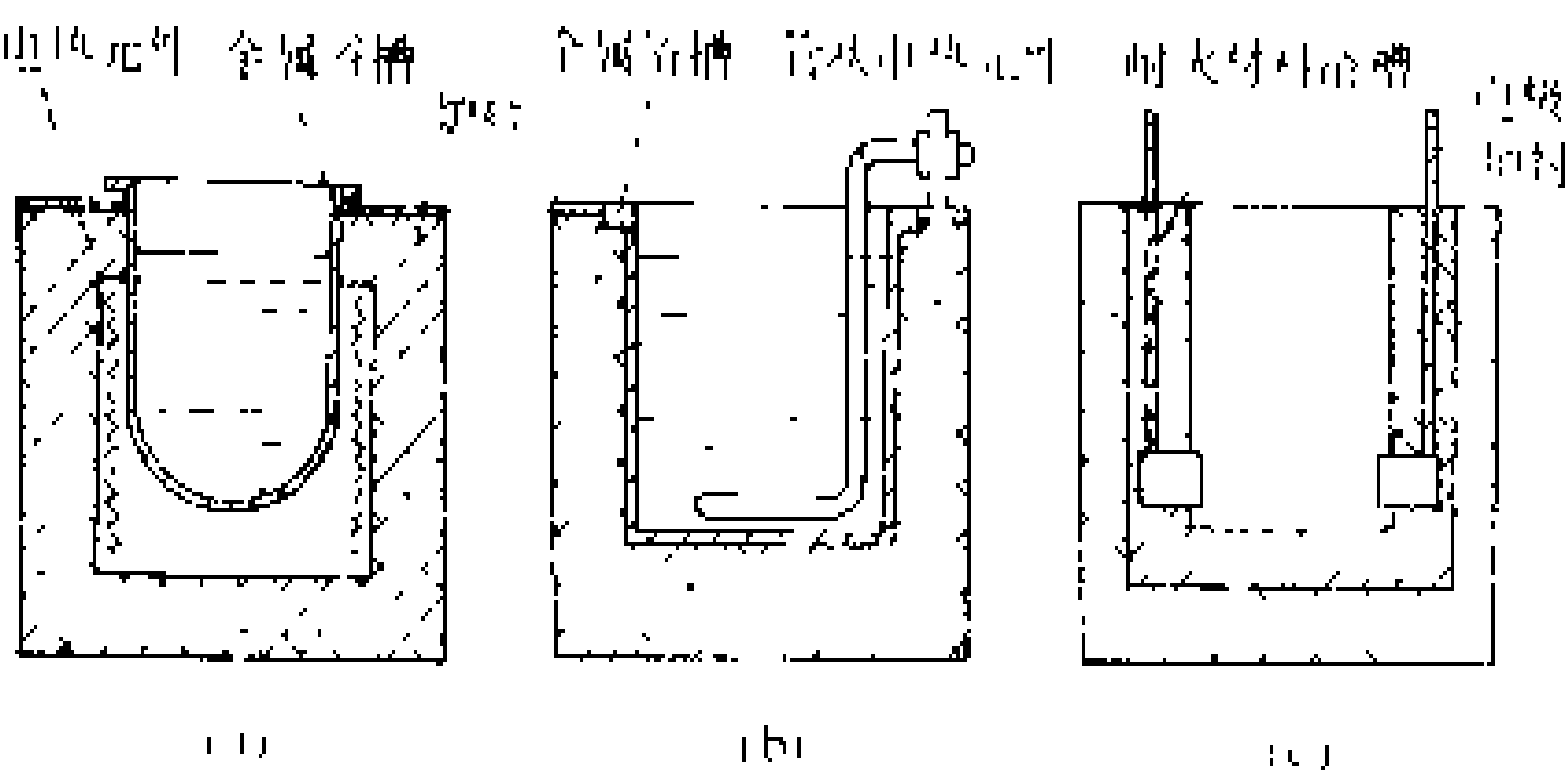


图2 带信号线型电热元件

(叶 林)

dianre yulu

电热浴炉 (electric bath furnace) 将浸没在处于工作温度下的液态介质中的工件进行加热或冷却的电阻炉。所用介质叫浴剂，主要有盐浴剂、碱浴剂、油浴剂和金属浴剂。如图所示，浴剂位于浴槽内部，用电热元件从外部加热[图(a)]或内部加热[图(b)]，或用电极直接通电加热[图(c)]。



几种不同结构电热浴炉示意图

(a) 外热式浴炉；(b) 具有带状电热元件加热的内热式浴炉；(c) 电极盐浴炉

电热浴炉主要用于合金钢件(工具、量具、机械零件等)的淬火加热及其等温淬火、分级淬火时的冷却。在浴炉中加热的优点是：①液体的热容量大、传热性能好，所以工件加热速度比在一般电阻炉中快，加热时间较短；②由于液体浴剂的保护可避免或减少工件表面的氧化和脱碳，当用适当成分的浴剂时还可方便地进行渗碳、渗氮或碳氮共渗；③炉温较均匀；④便于进行局部加热；⑤其中的电极盐浴炉，结构简单，用普通钢材作电极能达到1350℃的高温。因此电热浴炉在机械工业中得到广泛应用。其缺点是：①工件处理后必须清

除表面残留的浴剂；②要消耗浴剂；③固体浴剂启熔时间长，热损失大，因此浴炉加热效率和生产率都较低；④对环境污染较严重。随着控制气氛电阻炉和真空电阻炉的发展，在工件大批量处理的场合，电热浴炉正逐渐被取代。

电热浴炉按取用浴剂类别可分为盐浴炉、碱浴炉、油浴炉、金属浴炉几类。同一类浴剂按其不同成分又有许多种。浴炉的工作温度决定于所用浴剂的成分。

盐浴炉 以金属盐作为浴剂的电热浴炉。盐浴炉按加热方式分电极盐浴炉和电热元件盐浴炉两类。

(1) 电极盐浴炉。这类盐浴炉的浴槽内设有电极，电流经电极通过盐液，在其中产生电阻热，见图(c)。浴槽用耐火材料(耐火砖、耐火混凝土等)筑成。电极通常用碳钢制成，也有用不锈钢的。这类浴炉有低温炉、中温炉和高温炉三种。三者的工作温度、主要用途和所用浴剂见表。

电极盐浴炉分类表

类别	工作温度(℃)	主要用途	浴剂(举例)
低温炉	≤650	高速钢淬火预热和分级淬火等	50%BaCl ₂ +20%NaCl+30%KCl
中温炉	650~1000	高速钢淬火预热；合金钢加热等	50%BaCl ₂ +50%NaCl
高温炉	1000~1350	高速钢淬火加热	100%BaCl ₂

20世纪初电极盐浴炉就已用于工业。中国从20世纪50年代开始推广。早期，电极是插入式的，即电极不与浴槽壁接触而从液态浴剂顶面直接插进浴槽内。插入式电极盐浴炉，有能耗大、电极寿命短、炉温均匀性差等缺点。70年代起中国推广埋入式电极盐浴炉，其电极埋设在浴槽壁内，只下部与浴剂接触。电极埋入方式分为顶埋和侧埋(电极横向穿过浴槽壁的下部埋入)两种。前者结构较复杂，后者较易漏盐。

电极盐浴炉配用的降压变压器，通常称盐浴炉变压器。其二次电压，用于插入式电极盐浴炉者为5.5~17.5V，用于埋入式电极盐浴炉者为11~35V。用变压器上配有的转换开关分级调压。也有用饱和电抗器、磁性调压器无极调压。三相供电的电极盐浴炉采用T型接线变压器和两相电极，更有利于炉温均匀和减少电极消耗。

(2) 电热元件盐浴炉。这类盐浴炉的浴槽用钢制成，浴剂用电热元件加热，分低温炉和中温炉两种。

低温炉的工作温度一般不超过550℃，浴槽用普通钢板或渗铝钢板焊成，可以是内热式，见图(b)，也可以是外热式，见图(a)。浴剂多是钾和钠的硝酸盐或



亚硝酸盐（如 55%KNO₃+45%NaNO₂），用于合金钢的分级淬火、等温淬火及铝合金的热处理等。硝盐炉有爆炸危险，对其设计和使用时应特别注意安全。

中温炉的工作温度在 750~950℃ 范围内。浴槽用耐热钢浇铸或焊接而成。用电热元件外部加热。所用浴剂和用途与电极盐浴炉的中温炉类似。这种浴炉通常叫坩埚盐浴炉。由于耐热钢浴槽使用寿命短，这种浴炉现已用得较少。

碱浴炉 用碱类化合物作为浴剂的电热浴炉。浴槽用钢板焊成，用电热元件外部或内部加热。工作温度不超过 550℃。浴剂有 100% KOH、100%NaOH 或两者的混合物（有时加少量水）。用于合金钢的等温淬火或分级淬火。

油浴炉 用油（主要是矿物油）作为浴剂的电热浴炉。浴槽用钢板焊成，通常用管状电热元件内部加热，工作温度不超过 400℃。油浴炉用于合金钢的淬火、回火等。

金属浴炉 以低熔点金属作为浴剂的电热浴炉。浴槽用钢板焊成，一般用电热元件外部加热，工作温度不超过 600℃。浴剂有 100% Al、100% Sn、Pb 和 Sn 的混合物（分别叫铝浴炉、锡浴炉、铅锡浴炉）。该炉用于合金钢的等温淬火。由于金属蒸气，特别铅蒸气对人体有毒和其他原因，金属浴炉现已很少使用。

（许坤田 蒋聪吉）

dianre yuanjian

电热元件（electric heating element）在间接电阻加热中，与电源连接用来把电能转变成热能的元件。它是由电阻体及其附件组成的组合件，又称电加热元件或加热元件。

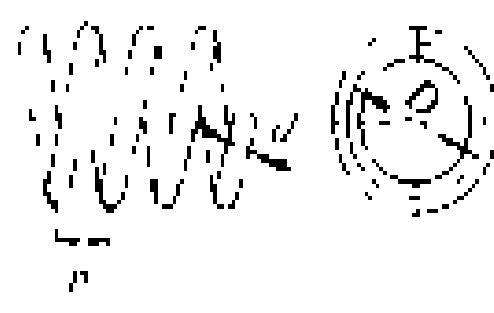

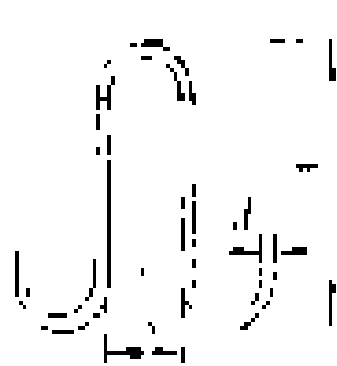
电热元件按其电阻体所用的电热材料不同，分为金属电热元件和非金属电热元件两种。基本型电热元件其电阻体表面一般不加绝缘层和保护层，组装在电阻炉内或制作成复合型电热元件后，才能安全通电使用。

金属电热元件 这类元件用电热合金或纯金属线材、带材制成，通常根据各个规格电阻炉的技术要求设计制造。

电热合金电热元件 其电阻体用铁铬铝或镍铬合

金等电热合金制成，通常做成线材螺旋形、带材波形和线材波形三种形式（见表 1 图）。元件两端焊有截面积较大的引出棒，用来连接电源。这类元件在氧化性气氛中的最高使用温度，视电热合金材质，在 350~1400℃ 范围内。在其他气氛中应用，其最高使用温度应适当降

表 1 电热合金电热元件的形状和尺寸关系

种类	结 构	尺 寸 关 系	
		铁铬铝合金	镍铬合金
线材螺旋形		$h \geq 2d$ 炉温 < 700℃: $D = (7 \sim 10)d$ 700~1000℃: $D = (6 \sim 8)d$ > 1000℃: $D = (5 \sim 7)d$	$h \geq 2d$ $D = (6 \sim 12)d$
带材波形		$m = \frac{b}{a} = 5 \sim 15$ （一般取 10） $r = (4 \sim 8)a$ $A < 80a$ 当 $m = \frac{b}{a} > 10$ 时，为防止高温时元件倒伏，可加辅助挂钩或支撑	$r \geq 3a$ 平放炉底时： $A = 100 \sim 150 \text{ mm}$ 挂在炉壁上时： $A = 200 \sim 300 \text{ mm}$
线材波形		$S > 3d$ $A = 150 \sim 250 \text{ mm}$	$S > 3d$ $A = 200 \sim 300 \text{ mm}$

低。这类元件通常都可直接接在低压电网上而不需要通过变压器或调压装置，是间接电阻炉中用得最普遍的电热元件。

纯金属电热元件 其电阻体部分用钨、钼、钨、钼等高熔点金属制成，有线材波形、薄壁管形、细丝编织管形等形式。最高工作温度：钨为 3000℃，钼为 2500℃，钨为 1600℃，钼为 1600℃。钨、钼和钨在高温时易氧化，须在真空、氢或惰性气体中使用；钼可以在空气中使用。这类材料的电阻温度系数大。升温过程中电阻值变化大，使用时必须配用调压装置，使电流和功率保持在允许的范围。由于材料价格高，使用条件苛刻，这类元件只用于实验室电阻炉或某些特殊的场合。

非金属电热元件 主要有碳化硅元件、硅化钼电热元件和石墨电热元件。这类元件的电阻值一般较低，电阻温度系数大。碳化硅元件长期使用后，元件电阻值会因元件的老化而增大，因此非金属电热元件在使用时必须配备调压装置。

碳化硅元件 以碳化硅为原料，加沥青、焦油等粘结剂，经挤压并加工成坯后在高温下烧制而成。元件分发热和引出两部分。发热部分的电阻大，电阻热主要在这一部分中产生。引出部分供穿过炉墙和连接电源用。

发热部分的外径在 6~40 mm 范围内。长度在 100~2000mm 范围内。元件做成许多种规格供用户选用。这种元件的形状很多,用得最多的是直棒形,通常叫硅碳棒,其次是螺旋管形,叫硅碳管。元件的最低使用温度为 850℃,最高在 1500~1800℃ 范围内。这种元件主要用于炉温 1300℃ 以上的间接电阻炉中。

硅化钼电热元件 又叫硅钼棒,系以二硅化钼为原料,加以粘结剂,成型后烧结而成。元件的形状多数呈 U 形和 W 形(见图 1)。其发热部分的外径通常有 6 mm 和 9 mm 两种,长度在 300~2100 mm 范围内。

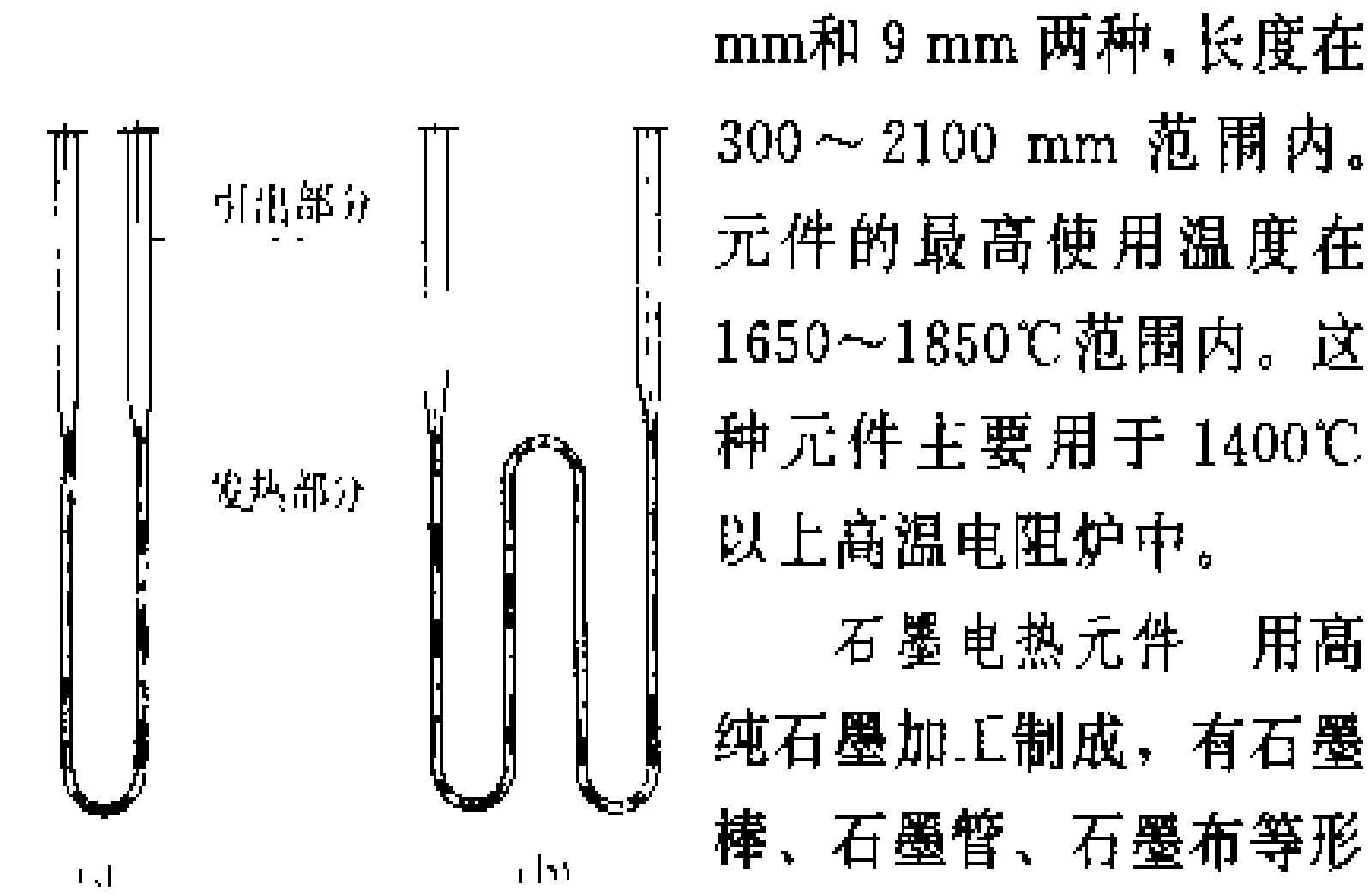


图 1 硅化钼电热元件 (a)U 形元件;(b)W 形元件

复合型电热元件 其电阻体外周加有绝缘层和其它保护材料,是一种独立完整的电加热部件,形式很多,主要有管状电热元件、电辐射管、软电热件等。

管状电热元件 通常是在金属管内装入螺旋形电热合金丝,管内空隙填以导热性和绝缘性良好的耐火材料(通常用结晶氧化镁细粒),经挤压压缩小管子外径,再在端部加上合适的接头并弯制而成。金属管根据使用要求可用普通钢管、不锈钢管等,成形后的管径一般

不超过 20 mm。某些供空气加热的元件还在钢管外加上散热片,有的还在钢管外再加瓷套管。这种元件可以弯制成许多种形状,多为棒形、U 形和 W 形。工业用管状电热元件的端部结构如图 2 所示,用于家用电器者常盘成螺旋形。这种元件主要用于空气、水、油、金属盐类、易熔金属等的加热,在低温电阻炉和家用电热器具(如自动电饭锅、电炒锅、电水壶、电开水器等)中得到广泛使用。元件的最高使用温度视产品品种在 20~550℃ 范围内。

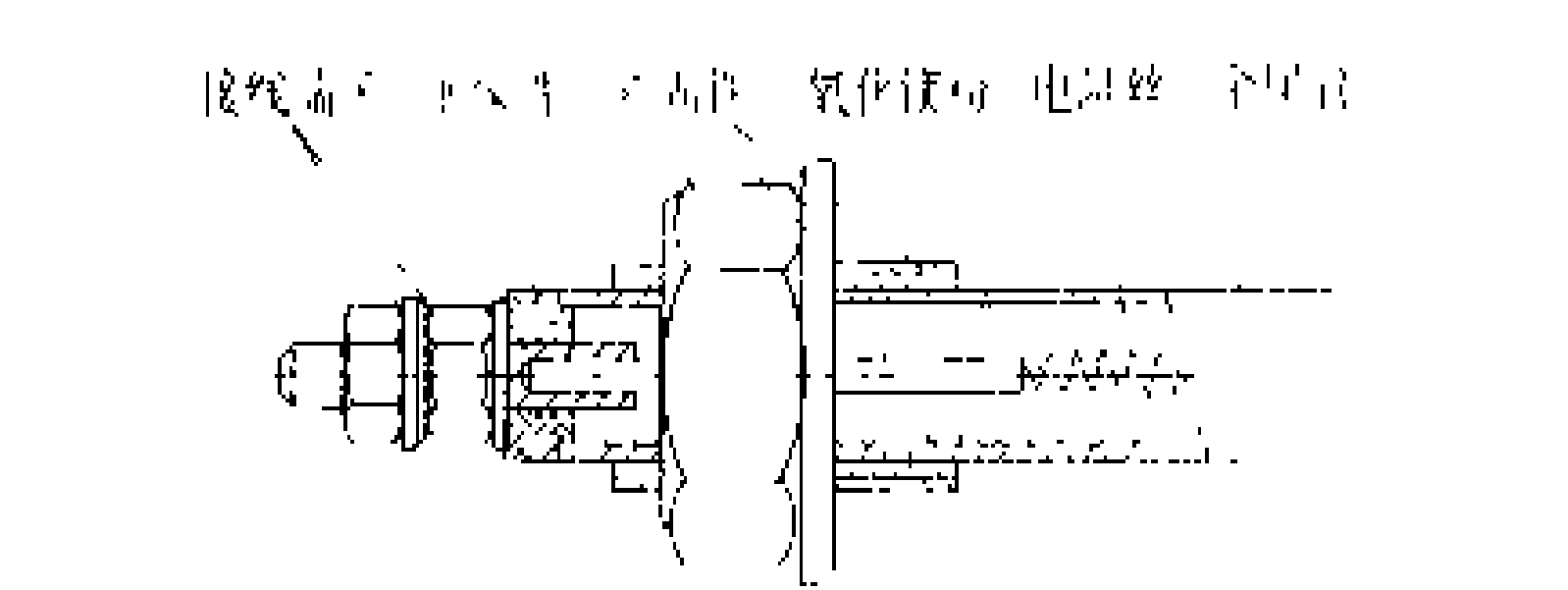


图 2 管状电热元件端部结构

电辐射管 这种元件的发热部分由电热合金线材或带材弯绕而成。发热部分外周同心地套有耐热钢管(钢管外径一般大于 80 mm,长度不超过 1500 mm)。发热部分各线匝间以及与钢管内壁间用氧化铝瓷件支撑和绝缘,如图 3 所示。这种元件的最高使用温度通常为 950℃,也有做到 1100℃ 的,主要用在气体渗碳炉中(见控制气氛电阻炉)。耐热钢管的作用是防止渗碳气

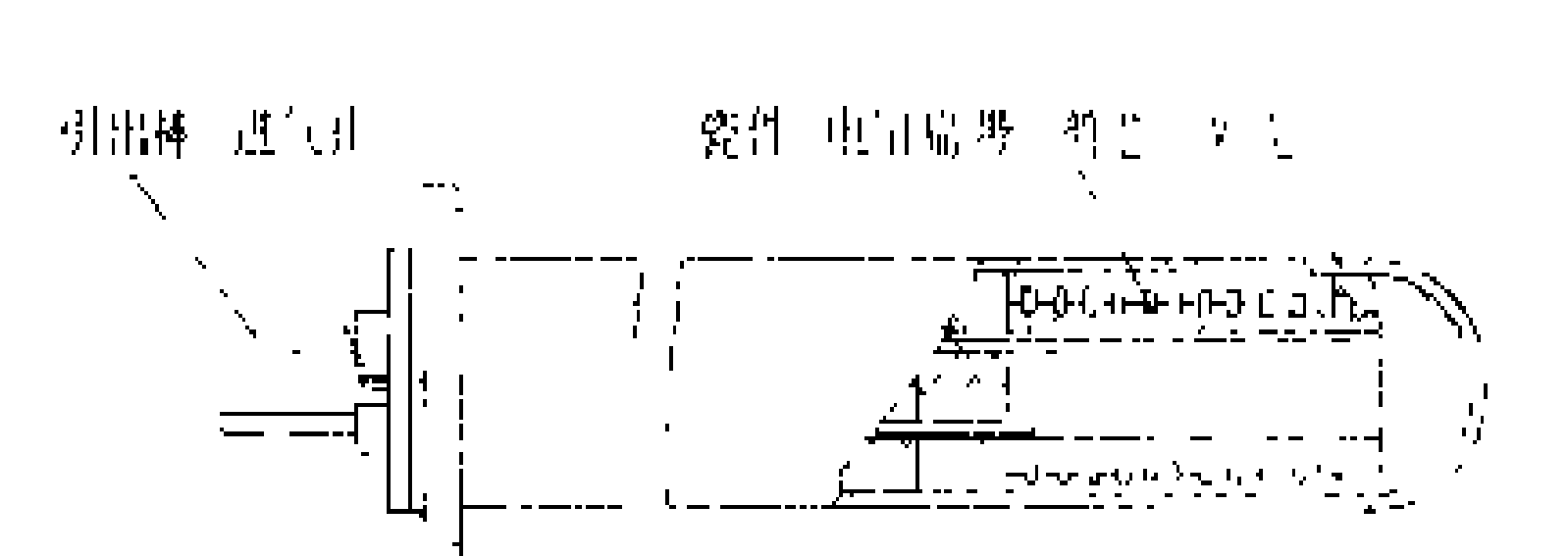


图 3 电辐射管结构示例

表 2 中国常用电热材料表

类 别			使用温度 (℃)		特 点 和 用 途
			常用	最高	
电 热 合 金	铁 铬 铝 合 金	1 Cr13 Al4	900~950	1100	与镍铬合金比,抗氧化性能高、电阻率高、密度小、价格低,但高温强度低、加工性能稍差,用后会变脆。为铁素组织,有磁性。广泛用于各类非真空电阻炉中
		0Cr13 Al6 Mo2	1050~1200	1300	
		0Cr25Al5			
		0Cr27 Al7 Mo2	1200~1300	1400	
		0Cr25 Al6 Re			
	镍 铬 合 金	Cr15 Ni60	900~950	1150	系奥氏体组织,基本上无磁性,加工性能好,可拉成细丝,用后不会变脆。除可用于一般电阻炉外,特别适用于移动式电阻加热器件
		Cr20 Ni80	1000~1100	1200	
		Cr30 Ni70	1000~1200	1250	
	镍 铁 合 金	Ni45 Fe	150~300	350	电阻率较低,电阻温度系数较大,具有功率自控作用,抗腐蚀性差。涂覆绝缘层后适用于软电热件
		Ni55 Fe	200~450	500	



续表

类 别		使用温度 (℃)		特 点 和 用 途
		常用	最高	
纯 金 属	钨 W	2200~2400	3000	钨可在空气中使用；钨、钼须在真空、惰性气体或氢中使用；钽须在真空或惰性气体中使用。电阻率较低，电阻温度系数较大，材料价格高。主要用于实验电阻炉和某些特种电阻炉
	钼 M	1400~1600	1600	
	钽 Ta	2200~2400	2500	
	铂 Pt	1300~1400	1600	
石墨 C		1300~2500	3000	600℃以上的空气中会剧烈氧化。主要用于真空电阻炉
碳化硅 (制成碳管等元件形式供应)		1300~1400	1500	所制成的电热元件高温强度高，硬而脆。同样规格的元件其电阻值一致性差，易老化，使用中电阻值会变大。适用于1300℃以上高温电阻炉
二硅化钼 (制成硅钼棒等元件形式供应)		1500~1600	1700	所制成的电热元件室温下硬而脆，1350℃开始变软，无老化现象，抗氧化性较好，但在800℃以下，因不能形成完整的氧化膜，而不宜长期使用，电阻温度系数大。适用于高温电阻炉

体与电热合金接触,以延长后者的使用寿命.因用电加热,且在炉内以辐射传热为主,所以叫做电辐射管,以别于用气体燃料加热的燃气辐射管。

软电热件 这类电热件主要由电热合金丝与绝缘材料编织而成,外加引出线和必要的绝缘和保护用护套.电热合金丝外表面常涂覆有绝缘层.绝缘材料按软电热件工作条件可分别采用塑料、棉纱、玻璃纤维、石英纤维或小直径瓷管等.也有用碳粒和合金树脂等制成带状或平面状的软电热件.软电热件可做成许多种型式,分别叫做电热电缆(或绳)、电热带、电热毯、电热套、电热罩等.软电热件可以弯曲,适用于包裹在管道、化工容器、真空容器等的外壁上供表面加热用,也可敷设在路面下或房顶上,供消除积雪等用.软电热件的最高使用温度,用塑料或棉纱做绝缘的不超过60℃,用玻璃纤维的约到450℃,用石英玻璃丝的可到600℃。(见建筑物电加热设施)

电热材料 用于制造电热元件中电阻体的材料叫电热材料.中国生产的电热材料的类别、使用温度、特点等见表2。

其他国家也有类似材料.材料牌号多达数十种,著名的如瑞典的康泰尔(kanthal).某些元件如碳化硅元件、硅化钼电热元件,其最高使用温度比表2中所列的高出100~200℃。

除此之外,还可用铱(Ir)、铼(Re)、铑(Rh)等金属和氧化锆(ZrO₂)、氧化钍(ThO₂)、氧化钇(Y₂O₃)、铬酸镧(LaCrO₃)等化合物作为电热材料,但由于价格高,只在特殊场合中使用。

(齐 钢 蒋聪吉)

应用传统乐器的发声机理作声源,经声—电转换后,由电子电路进行放大并作各种音色变化,再由扬声器放声的演奏器具,又称电乐器。

电乐器演奏方法和技巧与传动乐器相似甚至完全相同,所以比较容易为专业音乐工作者和音乐爱好者接受.电乐器的种类很多,几乎所有的传统乐器都可以有相应的电乐器.相应于弦乐器和打击乐器的电乐器,比较常见的有电吉他、电钢琴、电套鼓、电二胡、电琵琶等。

电乐器一般工作流程是:声源(演奏部分,包括演奏、微音放大和传声输出控制)→各种效果处理(沙音、哇音、震音、啸音、颤音、回声、合唱……)→调音混合(包括音色调节、混响)→功率放大→扬声器放声.各种效果装置可以单独使用,也可串(并)联混用,甚至可以交叉混合。

电乐器由与传统乐器相似的演奏部分和进行电子放大、效果处理的电子电路部分组成,但并不是传统乐器加上扩声就是电乐器了.在结构上,与传统乐器相反,电乐器的琴身要尽量避免振动,微音器接收的只是主动振动源(弦、膜等)的振动信号,以尽量减少声音之间的互相干扰.因此,一般的电乐器琴身都是专门设计制造的.为保证最好的音乐效果,每种电乐器往往有其专用的配套组合.例如电吉他不仅有与传统吉他相似的手持琴身,还应包括专用的电吉他扩音箱、专用吉他效果器(俗称法兹器).而电贝司则配有专用贝司音箱、贝司法兹器等。

由于应用电子电路进行扩声和音色处理,电乐器省去了传统乐器的体积庞大的共鸣腔,并能产生许多特殊的音乐效果,而且音量可调整,动态范围大,具有传统乐器无可比拟的优点。

(赵庆清)

diansheng yueqi
电声乐器 (electroacoustic instrument)

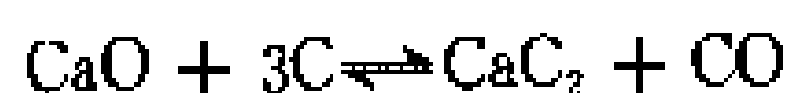
dianshi gongye yongdian

电石工业用电 (electrical energy utilization of calcium carbide industry)

电石是化学工业的重要基本原料,也是制备气焊,气割用乙炔的重要原料。电石即碳化钙 (CaC_2),是耗电、耗焦炭较多的产品,中国生产的电石一般单耗为 $3450 \text{ kW} \cdot \text{h/t}$,所以电石工业是化学工业中的耗能大户之一。由于早期电石工业技术和设备水平较低,给电石生产带来能耗高、污染重、劳动条件差以及生产效率低等许多缺点,影响着电石工业的发展。近二三十年来,中国许多电石企业都致力于降低单位产品(产值)耗电、降低焦耗、保护环境、提高效率和省力化操作等技术改造。1990年中国生产的电石实际工艺单耗的先进水平达到 $3186 \text{ kW} \cdot \text{h/t}$ (历史先进水平为 $3078 \text{ kW} \cdot \text{h/t}$),已经接近世界上 $3000 \sim 3100 \text{ kW} \cdot \text{h/t}$ 的先进水平。

电石工业的主要用电设备是电石炉,如果发生突然停电,一般不会发生人员重大伤亡和爆炸事故,也不会引起生产系统的混乱,但将导致大量减产,热能损失和单耗大幅度上升。电石炉用电负荷属于二级负荷(见用电负荷级别)。

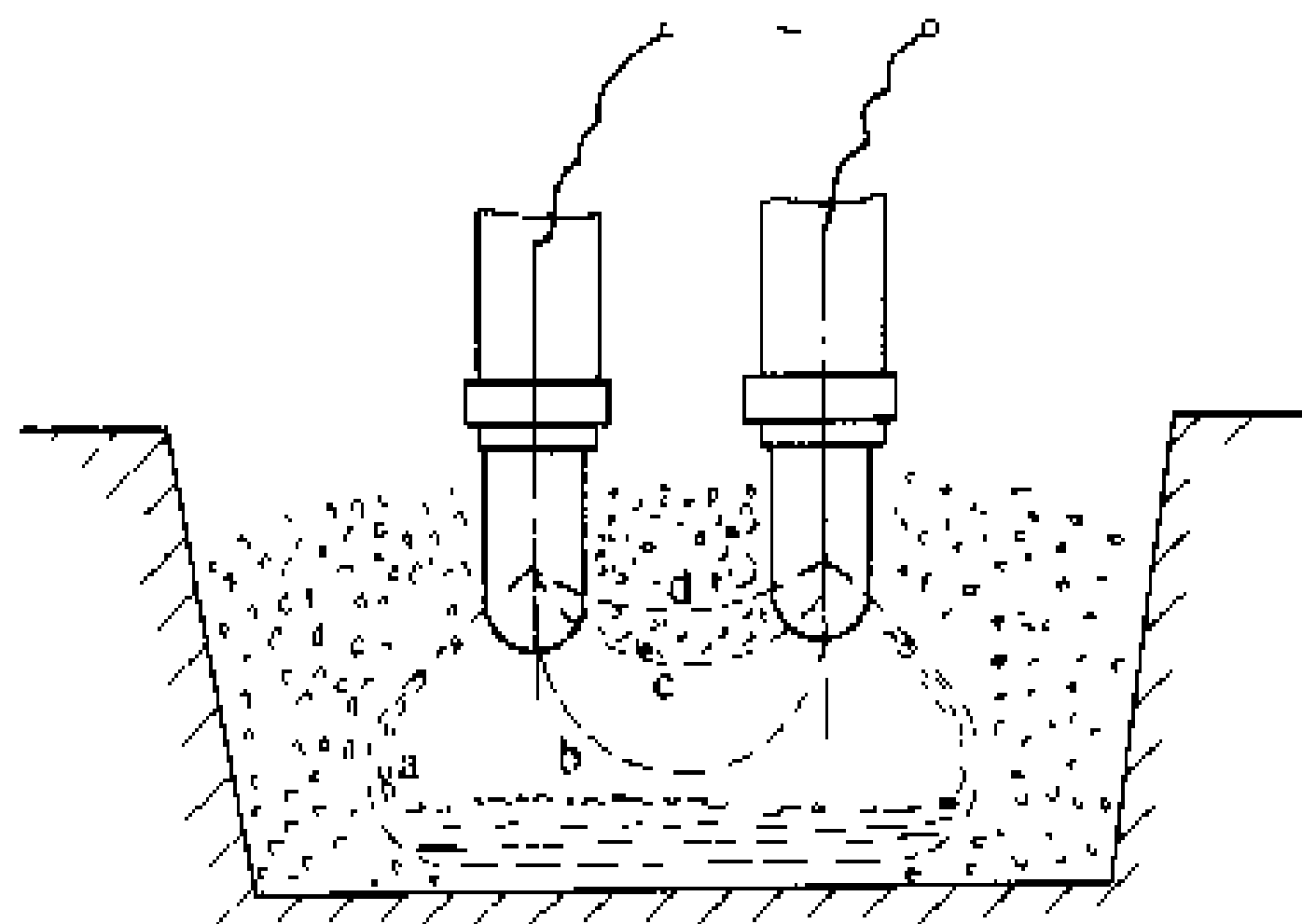
电石炉及其熔炼机理 在电石工业生产中,主要用电设备是电石炉,电石炉属冶炼电石的埋弧炉。电石炉型式和结构虽有不同,但熔炼机理基本一样。中国电石炉按容量可分为小型炉 ($8000 \text{ kV} \cdot \text{A}$ 以下),中型炉 ($8000 \sim 25000 \text{ kV} \cdot \text{A}$),大型炉 (大于 $25000 \text{ kV} \cdot \text{A}$);按炉的结构型式可分为开放炉、半密闭炉和密闭炉三种。电石炉的熔炼机理为:将生石灰 (CaO) 和炭素材料(焦炭和无烟煤、石油焦)加入电石炉内,并在电石炉的碳素电极上通以交流电,使其产生电弧,在电弧的高温作用下,使炭素原料中的碳原子与生石灰中的钙原子化合生成熔融电石。化学方程式为



如图所示,当电石炉的电极通以低电压、大电流的交流电后,在炭素电极之间或电极和炉料之间的电场作用下,使电极端头间的气体发生电离,自由电子脱离原子作定向运动,生成火花电子流即电弧。在每相电极下端形成电弧作用区即“坩锅”区,也称熔池。熔池的侧壁是烧结炉料,底部是熔融的电石。该熔池的体积和所需的功率成正比,其底部的面积和电流强度成正比,其高度则与电压成正比。

图中,在电石熔融过程中,电流回路各字母的含义为:a表示电流从电极经过电弧、炉料、熔融电石半成品,再经过炉料、电弧到另一相电极;b表示电流从电极经过电弧、电石半成品、电弧到另一相电极;c表示电流从电极经过电弧、炉料、电弧到另一相电极;d表示电流从电极经过炉料到另一相电极。

在a、b两条主要电流回路中电弧和炉料等所消耗的功率是电炉消耗功率的主要部分。



电石熔炼过程中电流回路示意图

在c、d两条电流回路中消耗功率较少(因温度低,炉料的导电系数极低)。为了减少炉面热损和炭素材料的消耗,有利于炉子的操作、维护,应尽量减少这部分功率消耗。

用电特点 具有需要低电压、大电流的交流电源,有调压要求,负荷率高,负荷较稳定,耗电高,电石炉产生谐波等特点。

需要低电压、大电流的交流电源 中国电石炉采用的电压一般是 $65 \sim 250 \text{ V}$,电流在几千安至10万A以上,故一般均配备比较大的特殊专用变压器供电。

有调压要求 为了在生产过程中,便于操作人员根据原料状况开炉或熔烧电极,避免密闭炉生产过程中过多的升降电极,需选择合适的二次电压以调整炉内功率,故要求电石炉变压器二次电压可多级调整。

负荷率高 电石的正常生产连续不断进行,而且都是满负荷运行,负荷较稳定,故负荷率较高。

耗电高 工业电石的生产必须在 2300°C 左右的高温条件下完成,由电能转化的热能是冶炼电石的主要热源,所以电石是高能耗产品。理论上电石单耗为 $1950 \text{ kW} \cdot \text{h/t}$,但冶炼过程中,由于原料质量、操作因素、电炉辐射及短网等方面引起的热损,致使电耗增加。一般小炉子生产的电石单耗比大炉子的要高 $200 \text{ kW} \cdot \text{h/t}$ 左右。

自然功率因数低 电石炉的自然功率因数(见用电功率因数)随电石炉容量和型式不同而异。除一般小型电石炉的自然功率因数能达到0.9以上外,容量在 $10000 \text{ kV} \cdot \text{A}$ 以上的中、大型电石炉的自然功率因数都在0.9以下,且炉子越大,自然功率因数越低;密闭电石炉的自然功率因数,由于受炉盖装置的限制,加长了导电卡子以下的电极有效长度,导致短网电抗增加,因而比开放炉的自然功率因数还要低些,一般密闭电石炉的自然功率因数均在0.85以下。

近年来,中国具有大、中型电石炉的厂家为了节约能源、提高电炉变压器的出力、挖掘电石炉生产潜力,都采取人工补偿方式提高功率因数。

电石炉产生谐波 电石炉特性不同于一般冶金电弧炉,它具有电阻电弧炉的特性,在运行中产生的高次谐波含量没有一般电弧炉那么高。中国经过实测证明电石炉是谐波源之一,主要谐波成分是3、5、7次,其中以3次谐波为主,电炉变压器一次侧相电流3次谐波率最大为3.25%,电炉变压器二次侧电压的3次谐波率最大为6.5%。这是由电石炉的负荷性质和特定运行状态所决定的。

在采用电力电容器组补偿装置时应根据电石炉实际产生的谐波值采取相应参数。

(刘志尧)

dianshi jieshouji

电视接收机 (television receiver; TV set)

将天线接收到的高频信号还原为视频图像信号和低频伴音信号,供显示器件和电声器件重现图像和重放声音的设备,简称电视机。电视接收机是广播电视系统的终端设备。电视是传送静止或活动影像的电子技术,简称TV。电视发射台用摄像管把图像的光信号变成电信号,再将信号放大、加工后送至电视图像发射机,在发射机内经过调制、放大等一系列加工,最后经电视发射天线以高频电磁波的形式发射出去。伴音是用话筒将声信号变成电信号,通过伴音发射机与图像用同一副天线发射。

简史 1884年德国P. G. 尼普科夫发明螺旋扫描器,用光电池(见光电化学电池)把图像的序列光点转变为电脉冲,实现了最原始的电视传输和显示。1925年美国C. F. 詹金斯(Charles Francis Jenkins)和1926年英国J. L. 贝尔德(John Logie Baird)相继实现影像粗糙的机械扫描电视系统。到1932年,人们改进了美国V. K. 兹沃雷金(Vladimir Kosma Zworykin)于1923年发明的光电摄像管。P. J. 范思沃恩于1930年发明的电子扫描系统和美国无线电(RCA)公司电子束显像管的改进,使电视进入了现代阶段。1937年在英国和1939年在美国开始了黑白电视广播。50年代初期,黑白电视广播开始在各普及。中国在1958年试制成功黑白电视机并开始黑白电视广播。美国在1953年采

用了NTSC(正交制)兼容制彩色电视制式,于1954年正式广播。联邦德国、法国相继于1963、1966年确定了PAL(帕尔制)与SECAM(塞康制)彩色电视制式,从而形成三种彩色电视制式并为世界各国所采用。大多数国家从60年代后期转向彩色电视广播。1971年中国试制成功彩色电视机,采用PAL制式。

分类 电视机的分类方法有多种:①按电路型式可分为直放式和超外差式,直放式电视机性能差已基本被淘汰。②按屏幕尺寸可分为13 cm(5英寸)、23 cm(9英寸)、31 cm(12英寸)、34 cm(14英寸)、40 cm(16英寸)、43 cm(17英寸)、47 cm(18英寸)、51 cm(21英寸)、56 cm(22英寸)、61 cm(24英寸)等。③按使用的电子器件可分为电子管式、晶体管式、集成电路式和混合电路式,主要是集成电路式。④按接收频段可分为甚高频(VHF)和甚高频、超高频(UHF)的全频道电视机。⑤按用途可分为电视-收音两用机、收-录-电视三用机、收-录-电视-时钟四用机等。⑥按图像颜色可分黑白电视机与彩色电视机两种。此外,还按光、电、声等综合性能分为甲级机和乙级机。

黑白电视机 超外差内载波接收方式的黑白电视机电路框图见图1。天线接收的高频信号(调幅图像信号和调频伴音信号),经馈线和匹配网络,进入高频调谐器,取出所需电视信号后由高放级将高频图像信号和伴音信号放大。然后利用比图像载频高出一个中频的本振信号与接收到的信号混频,把高频信号转变成调幅图像中频信号和中心频率的调频伴音中频信号。图像通道包括图像中放、视频检波和视放,产生显像管所需要的激励信号。在视频检波器中,伴音中频信号与

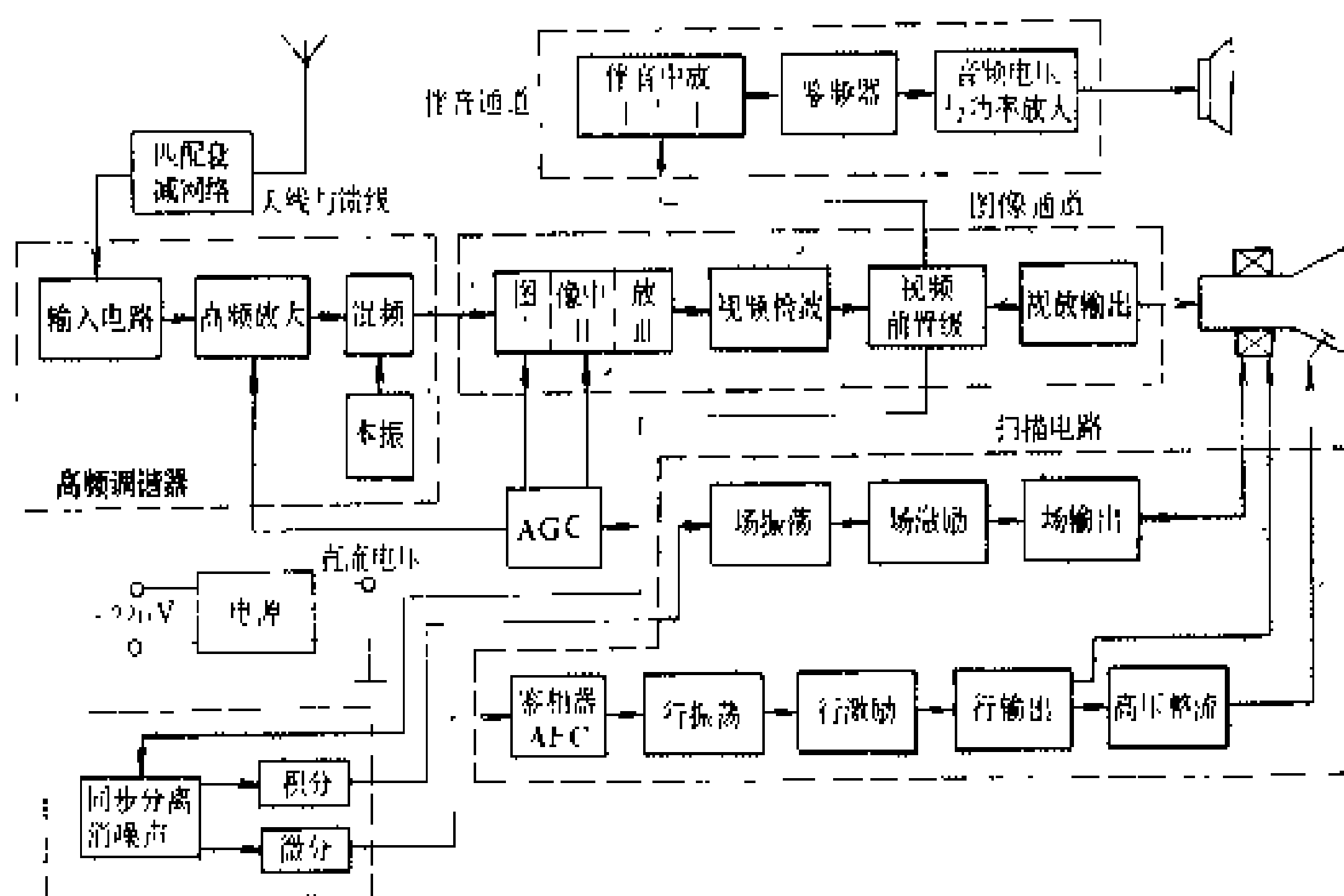


图1 黑白电视机电路框图

图像中频信号差频,产生第二伴音中频信号。因为它是利用信号内的图像载波作为本振电压差频得来,所以

称为内载波式。伴音中频信号经伴音中放、鉴频器、音频电压与功率放大级产生扬声器需要的激励信号。扫描电路包括行、场偏转和高压变换等光栅显示电路。电源电路供给显像管灯丝及各部分电压。另外,还有使图像稳定的同步分离、抗干扰、自动增益控制 (AGC)、自动频率控制 (AFC)、自动亮度限制电路及关机消亮点电路等。

彩色电视机 标准 PAL 制式彩色电视机电路框图见图 2。它与黑白电视机的主要不同是彩色显像管代替了黑白显像管并增加了色度通路 (图中虚线所

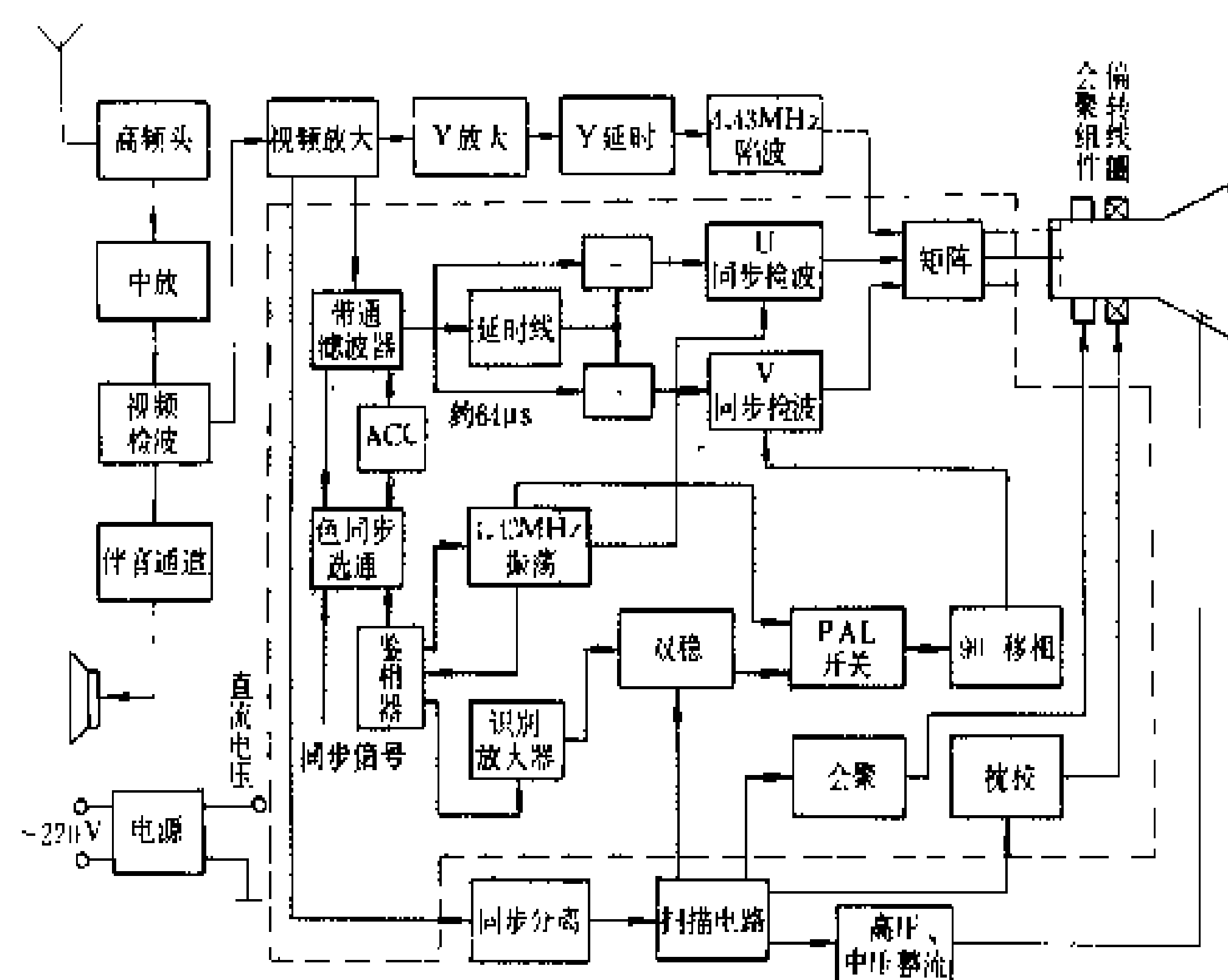


图2 彩色电视机电路框图

示)。彩色全电视信号包括亮度信号、色度信号、复合同步信号和复合消隐信号。亮度信号就是黑白电视系统的图像信号,使黑白电视机能收看到彩色电视台节目,又可供彩色电视机显示彩色图像。色度信号代表像素的色调和色饱和度(色彩的浓淡),使彩色显像管能再现彩色图像。色度通道的作用是利用带通滤波器从彩色全电视信号中取出色度信号,经过延时解调和同步检波器,得到两个色差信号U及V;色差信号与亮度信号Y经过矩阵电路,得到红(R)、绿(G)、蓝(B)三个基色信号。另外,受色同步信号控制的副载波恢复电路(包括鉴相器、副载波振荡器)产生基准副载频信号。识别放大器和PAL开关的作用是为了恢复V信号原有的相位关系。此外,还有自动色度控制及消色电路等附属电路。

性能 电视机的技术参数包括图像质量、声音质量和整机稳定性等项,还需具备防触电、防起火、防爆炸、防辐射、抗干扰等安全可靠性能。

黑白电视机与彩色电视机共有的性能指标主要反映高频调谐系统、图像中频公共通道、伴音通道、扫描系统、电源电路的性能。性能指标包括:①灵敏度,即

图像噪波限制灵敏度、伴音通道限制灵敏度、彩色灵敏度等,主要反映电视机接收微弱信号的能力。②选择性,包括邻频道选择性、中频抑制比、镜像抑制比等,主要反映电视机对接收频道之外的干扰信号的抑制能力。③交扰调制抑制能力、抑制彩色副载波和伴音内载波差拍干扰能力,主要反映电视机对非线性元件造成的干扰的抑制能力。④扫描系统电路性能,包括图像重显率、扫描非线性失真、图像几何失真、扫描同步范围等。⑤电源电路性能,包括电源消耗功率、保持图像稳定的电源电压变化范围。⑥伴音通道电性能,包括伴音通道最大用电输出功率、伴音通道噪声、伴音通道调幅抑制比。⑦伴音通道声性能,包括伴音通道声压频率响应、伴音通道平均声压、伴音通道总声压谐波失真。⑧自动频率控制(AFC)特性。⑨自动增益控制(AGC)特性。⑩天线输入端行波系数。

彩色电视机特有的性能指标主要有:

①亮度通道性能指标,包括亮度通道线性波形响应、亮度通道直流分量失真、亮度信号行期间非线性、亮度-色度延时差等。②色度通道的性能指标,包括色度通道线性波形响应、色度通道直流分量失真、色度通道行期间非线性、消色电路功能、色度自动增益控制(ACC)特性、复合亮度、色度自动增益控制动态特性等。③梳状滤波器和色度解调电路的性能指标,包括色度信号解调误差、行顺序信号电平的不一致性、行顺序信号阶跃处的相位失真、彩色同步稳定性等。④矩阵电路的性能指标,包括G-Y矩阵误差和基色信号矩阵误差。

与重现亮度和色度有关的性能指标主要是与黑白、彩色显像管及其周围电路有关的性能指标,有:①与重现亮度信号有关的性能指标,包括图像清晰度、大面积图像对比度,全屏幕最大亮度、阳极高压稳定等。这是黑白、彩色电视机都要考核的性能。②与重现彩色信号有关的性能指标,包括会聚误差、基准白的色度坐标误差、白场色度不均匀性、白平衡误差、色纯度等。

选购 选购电视接收机时应根据住房条件决定屏幕尺寸。电视机的最佳观看距离为屏幕高度的5~7倍。在选购电视机时还应尽量全面检验质量。对质量的鉴别主要包括以下方面:

(1)图像质量检查。扫描光栅亮度均匀、聚焦良好,没有暗角、黄斑。同步良好,图像清晰,彩色鲜艳、肤色真实,图像比例正确,无明显的失真、露里边现象或



由扫描幅度太大造成的重显率下降等。

(2) 伴音质量检查。伴音无交流声和蜂音干扰, 无明显声音失真和伴音干扰图像, 声音宏亮、低音丰满、高音清晰。

(3) 稳定性检查。用手轻拍机箱, 图像、伴音和彩色稳定, 无图像和伴音时有时无、画面跳动等现象。转换频道时, 图像能很快恢复正常。

(4) 调节机构及外观质量检查。调节机构灵活、可靠, 天线转动自如, 固定牢靠, 调节旋钮无卡死、打滑、阻力不匀等现象。外观结构牢固, 无明显划伤、脱漆, 装饰件完整、美观, 无锈蚀现象。

故障检修 电视接收机常见故障及其检修方法见表。

电视接收机常见故障及检修方法

故障现象	故障寻迹路线	故障部位
无光栅	电源电路→整流电路→稳压电路→行扫描电路→显像管及周围电路	电源电路; 行扫描电路; 显像管及其附属电路
有光栅、无图像	视放电路→视频检波电路→图像中放电路→高频调谐器→天线插孔	公用通道
有图像、无声音	扬声器→低放电路→音量调节电路→鉴频电路→伴音中放电路	伴音中放及低放电路
有图像、有声音、无彩色	彩色解码电路→色差输出→副载波恢复电路→ACK 电路→梳状滤波器	色度信号解码及色饱和控制电路
缺某一彩色基色信号	缺红色, 屏幕发青色 缺绿色, 屏幕发紫色 缺蓝色, 屏幕发黄色	基色矩阵电路某一路信号开路
彩色畸变	绿色偏黄——R-Y 短路 青色偏蓝——G-Y 短路 紫色偏红——B-Y 短路	基色矩阵电路某一路短路

续表

故障现象	故障寻迹路线	故障部位
彩色不稳定	色同步电路→色同步分离电路→APC 鉴相器→晶体振荡器	色同步电路
彩色	调节饱和度, 彩色无变化	彩色解码电路
淡薄	调节对比度、亮度, 彩色无变化	亮度通道
行、场均不同步	调节行、场同步旋钮, 行、场均不同步	同步分离电路
行扫描同步, 场扫描不同步	场积分电路→场振荡电路→场定时电路	场积分电路和场振荡电路
行扫描不同步, 场扫描同步	行 AFC 鉴相器→行同步电路→行锯齿比较电路→行振荡电路	行 AFC 电路和行振荡电路
光栅有垂直亮线	行偏转线圈开路→行 S 校正电容开路→行线性调整器开路	行偏转线圈支路开路
光栅有水平亮线	场偏转线圈开路→场输出电路→场振荡电路	场扫描电路

展望 随着现代科学技术的发展, 电视技术日趋更新和完善。其特点有: ①两极化。一是微型, 液晶显像屏幕的尺寸从 3.8 cm 至 8.9 cm, 阴极射线管显像的屏幕尺寸在 14 cm 以下; 二是大型, 如壁挂式薄型平板电视机、阴极射线显像大屏幕电视机和投影式大屏幕电视机等, 已有 37 英寸家用平面直角彩色电视机和 40 英寸高清晰度电视机问世。②数字化。用数字集成电路将连续模拟量变换为离散数字量的电视机。③高清晰化。高清晰度电视 (HDTV) 可以同 35 mm 电影图像的逼真度相媲美, 具有极其广阔的发展前景。④立体声化。电视机具有双声道音响效果, 可与激光唱片相媲美。⑤多频道化。可接收数十个电视台节目。⑥卫星化。通过户外特殊装置的天线, 可接收卫星传送的数十个甚至全球的电视台节目。⑦日视化。经过对滤色器、显视屏改进后的电视机, 即使在白天或阳光下, 仍能收看到很清晰的电视图像。⑧装饰化。电视机将以其精美的造型和装潢成为房间布置中漂亮适用的装饰品。⑨新材料化。电视机内各零部件材料将更新换代, 开发应用成本更低、性能更趋完善的新的替代材料。

(张国志)

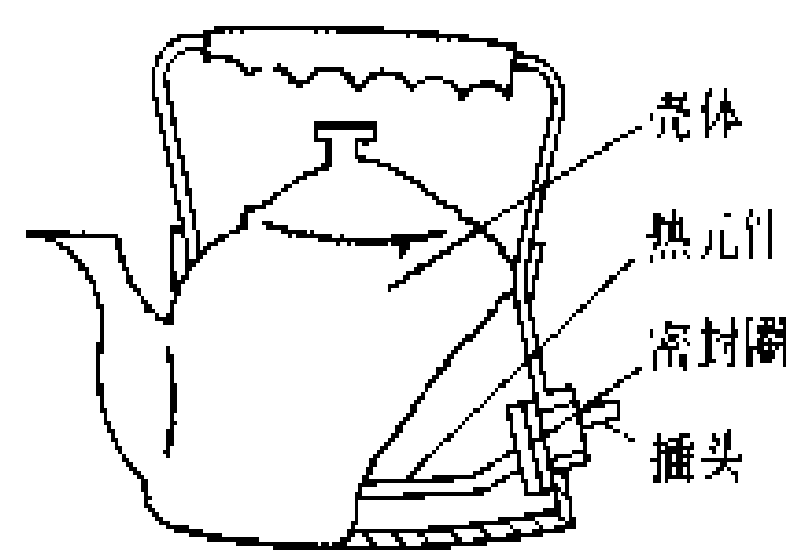
dianshuifu

电水壶 (electric kettle) 利用电热元件加热将水烧开的水壶状厨房器具。电水壶的规格均以装水容量来表示,较常见的有 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 5 L 等六种,相应的耗电功率分别为 600, 800, 1000, 1500, 2000, 3000 W。家庭使用的电水壶装水容量以 2~2.5 L 为宜, 3~5 L 的大型电水壶更适合集体单位使用。

结构与工作原理 电水壶按其使用性能分为普通型与自动型两种,其主体结构大体相似,区别主要在于控温机构。

普通型电水壶由壶身、壶盖、提手、电热元件及电源插接组件等部分组成(见图)。壶身多采用不锈钢或铝合金制作,再经抛光或阳极氧化加抛光。它的电热元件主要是管状电热元件,安装位置仅略高于壶底面,使它可完全浸没在壶内水中,所以其热效率极高。为了防止管状电热元件的锈蚀,均采用不锈钢管或铜管做加热器的外铠。采用铜管时,对制成品要镀铬并抛光。

普通型电水壶没有恒温装置,水沸腾后需使用者拨下电源插头。为了防止使用者忘记拔掉插头以致把水烧干,甚至烧坏电热元件和电水壶,有的电水壶在壶



电水壶的结构

嘴处加设了哨嘴,只要水一开就会发生啸叫,提示使用者拨下电源插头,以保安全。

自动型电水壶只是在普通型电水壶上加装了控温元件。较常采用的控温元件是双金属片恒温器。它安装在电胶木防护罩内,出厂前已由工厂调整好,当水温达到 100℃ 时双金属片的翘曲恰使两触点脱离,也就切断了电热元件的电源,因此安全可靠。某些电水壶的控温元件在水沸时可利用机械机构自动将电源插头推出,切断电源,但结构较复杂,不易普及。

使用维护 一定要先装入水再接通电源,以防干烧。注水量最少要没过电热管,最多不超过壶内标志的最高水位线(如无标志,以总高度的 80% 为限)。自动型电水壶在接通电源前,应使壶上开关处于“断”位,接好后再搬到“通”位。

在水质较硬地区,壶内往往很快结上一层水垢,此时不得用硬物去刮,应加入除垢剂去除水垢。

(叶宗林)

dianti diankong xitong

电梯电控系统 (electric drive control system for elevator) 用以实现电梯升降运动的电力拖动和控制等电路组合的整体。

电梯作为垂直运输客货的交通工具,应满足高可靠性、舒适性、高效率等要求。

分类与组成 按拖动电机分,有交流电梯、直流电梯;按运行速度分,有低速梯(1 m/s 以下),快(中)速梯(1~1.75 m/s),高速梯(2~4 m/s),超高速梯(5 m/s 以上)。一般低速梯用于 10 层以下,中速梯用于 20 层以下,高速梯用于 20 层以上,超高速梯用于超高层建筑。

电梯的主要组成部分包括:曳引部分(由曳引电动机和曳引钢丝绳组成)、引导部分(由导轨和导轨架组成)、轿厢和厅门、对重装置(由置于对重架中的几十块铸铁构成,其重量约为轿厢自重加 0.4~0.5 倍电梯额定载重量,以平衡轿厢负荷)、补偿装置(当提升高度超过 35 m 时,为抵消钢丝绳和控制电缆自重对电动机负载的影响所加的补偿链)和电控系统(由选层器、传动与控制柜、轿厢操纵盘、呼梯按钮和厅站指示器等组成)。

基本要求 为适应对电梯的可靠性、舒适性和高效率的要求,电梯的电控系统应当实现安全性、合理速度变化、准确停靠等基本要求。

(1) 安全性。电控系统设置了多重安全措施。电气方面有:电磁制动器,端站多级强迫缓速开关,极限开关,急停按钮,关门安全开关,厅门开关及磁场欠流,电机过流、过热、超速、门区低速等保护安全措施。此外还有机械联锁安全触点,如安全窗、选层器、钢带轮、限速器、张绳轮、安全钳等,当机械设备处于非正常状态时,触点动作使电梯立即停止运行,确保乘客的人身安全,可靠性极高。

(2) 合理速度变化。为保证乘客有良好的舒适感,一般规定电梯的加速度约为 $0.8 \sim 1.5 \text{ m/s}^2$, 加加速度约为 $0.8 \sim 1.2 \text{ m/s}^3$ 。为使乘客在起、制动等换速过程中无失重或超重感觉,采用 RC、RLC 充放电电路产生的速度给定曲线可以基本满足要求。而理想的电梯速度给定曲线如图 1(a) 所示,需用运算放大器双重积分电路或数字式给定电路来实现。

(3) 准确停靠。为了准确停靠,要求系统能准确发出减速信号。以前采用的机械选层器和井道内设置减速开关的方法,均难以满足要求。20 世纪 90 年代采用较多的为下列两种方式:①数字量方式。用与轿厢移动相关的光电开关或电磁脉冲发生器,将距离转换为脉冲型数字量,通过微型计算机计算发出准确的减速信号。②模拟量方式。其通过运算放大器将测速发电机的速度电压值积分得到已运行距离,然后经函数转换器、比较器发出减速信号。但是,由于给定曲线、负载变化等各种因素的影响,难以实现速度平滑降到轿厢正好停于楼层平面处,为此必须设置平层校



正环节来补偿这些影响，保证平层精度。这是电梯控制系统的另一特殊要求。不同等级电梯的平层精度在 $\pm 3\sim\pm 15\text{ mm}$ 之间。简单的措施是使速度给定曲线有一级爬行段或再加一级平快段来实现，如图1(b)

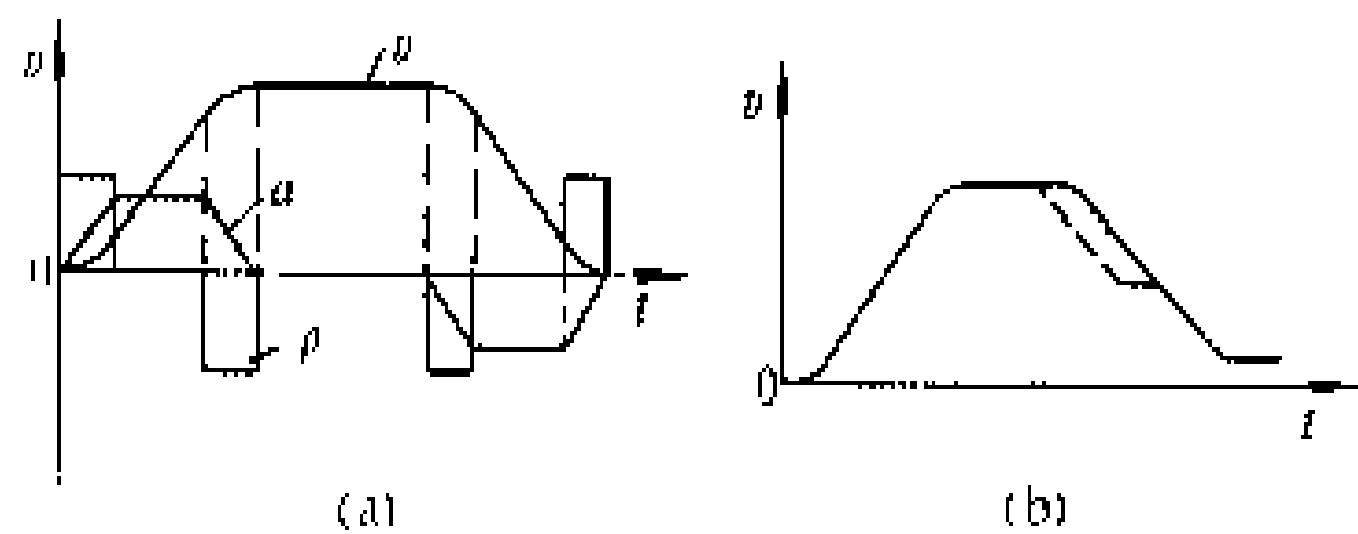


图1 速度给定曲线
(a) 理想的；(b) 实际的

所示。其缺点是效率低、舒适感差、平层精度低。较好的办法是按距离直接停靠原则，即在距停靠楼层水平 200 mm 和 100 mm 处发出校正信号，系统将此时的实际速度与设计规定的给定速度作比较，根据差值的极性和大小改变给定曲线的斜率，以保证轿厢无爬行直接停靠于楼层平面，达到舒适感、效率和平层精度均最好。

主传动系统 各种常用电梯主传动系统（系统名称）、供电方式、曳引电动机、梯速、节能性能、调速性能及评价如表所示。

变频变压电源（VVVF）系统与交流调压系统相比，可节能 50% ，平均功率因数由 65% 提高到 90% 以

电梯主传动系统

系统名称	供电方式	曳引电动机	梯速(m/s)	节能性能	调速性能	评 价
交流单速系统	接触器三相交流直接供电	交流电动机	<0.75		差	适用货梯或简易客梯
交流双速系统	单绕组变极或双绕组供电	单/双绕组交流电动机	<1.0		差	适用于低档客货梯
交流调压系统	定子电压晶闸管交流调压供电	交流笼型电动机	$>1.0\sim 2.0$	中	中	适用于中高层客货梯，应用广泛，随着电子技术发展，调速性能大有提高
变频变压电源系统	定子侧晶闸管调压变频	交流笼型电动机	>2.0	高	优	是发展方向，但技术复杂，价格较高，适用于高档梯
晶闸管励磁系统	交流电动机-直流发电机供电、发电机晶闸管调压励磁	直流电动机	>2.0	低	优	高速梯仍有应用，但已趋淘汰（占地面积大，噪声高，耗能高，但性能优良可靠）
晶闸管供电系统	电枢晶闸管三相桥式反并联系统供电	直流电动机	>2.0 以上	高	优	在高速梯采用，使用中应注意对电网的“污染”问题，但因采用直流电机而限制了其发展

上，电源容量减少 50% 以上，且乘坐舒适感好。

变频变压电源(VVVF)系统与晶闸管供电系统在功率因数和能耗上的性能比较见图2。前者可减少电源容量 20% ，能耗减少 $5\%\sim 10\%$ ，对电网“污染”也降低。

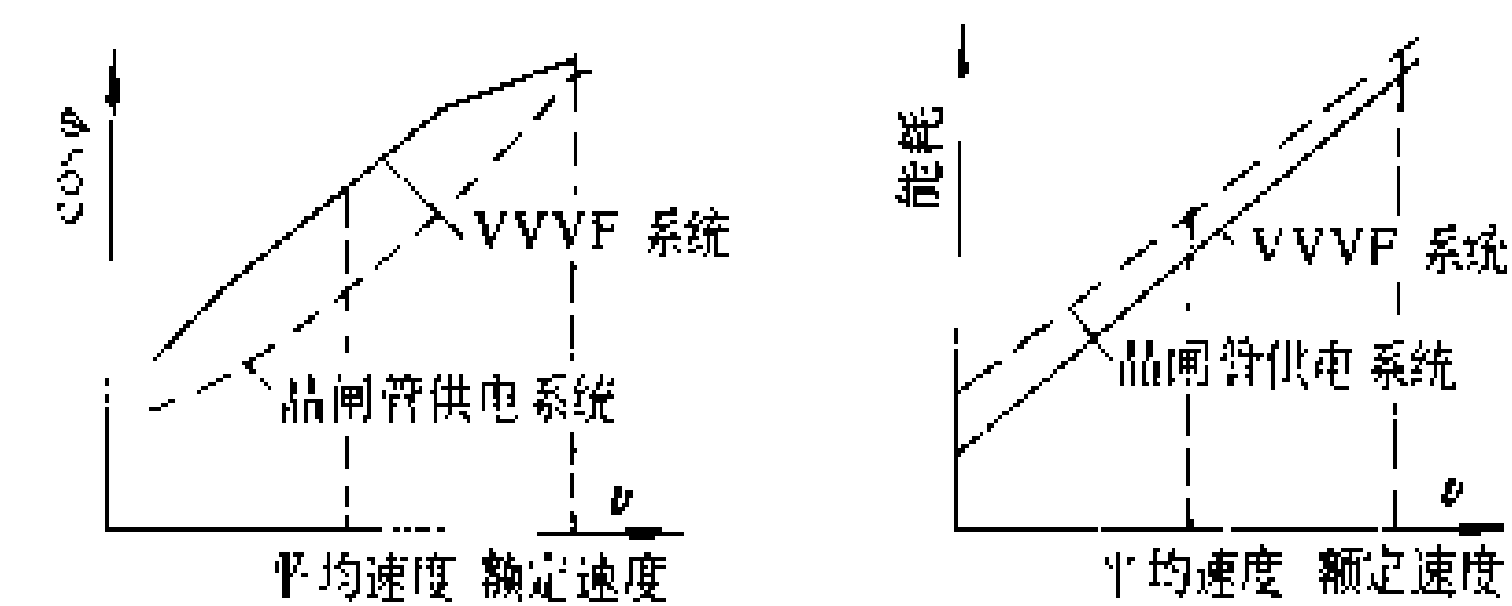


图2 各供电系统性能比较

在一次运行过程中将晶闸管供电系统与晶闸管励磁系统相比，前者可减少电源容量 30% ，降低发热 20% ，节能 40% ，但在停止运行时电机空转损耗是

一个严重缺点。所以随着电力电子技术的发展，晶闸管励磁系统不仅在 1.75 m/s 快（中）速客梯中已被交流调速梯所取代，在高速梯中的前景也是暗淡的。

控制方式 图3为几种典型的电控系统方框图，图中各电控系统均与上表中主传动系统相对应，分别为交流调速、晶闸管供电、快速与高速VVVF调速、晶闸管励磁调速等电控系统。系统中的各种控制电路部件，如给定电路、速度调节器等可以用模拟电路构成，发展趋势是采用微型计算机。电梯电控系统的任务有两项：一是多梯系统中调配电梯发车；二是完成单梯本身的功能，如厅内召唤和轿厢内指令的登记、应答、消号、定向、开关门控制，电源的通断，控制方式选择，起制动及平层、停车控制，安全连锁，层楼显示等基本功能，以及消防、紧急供电等特殊功能。

电控系统根据梯数一般分为单梯、双梯并联及梯

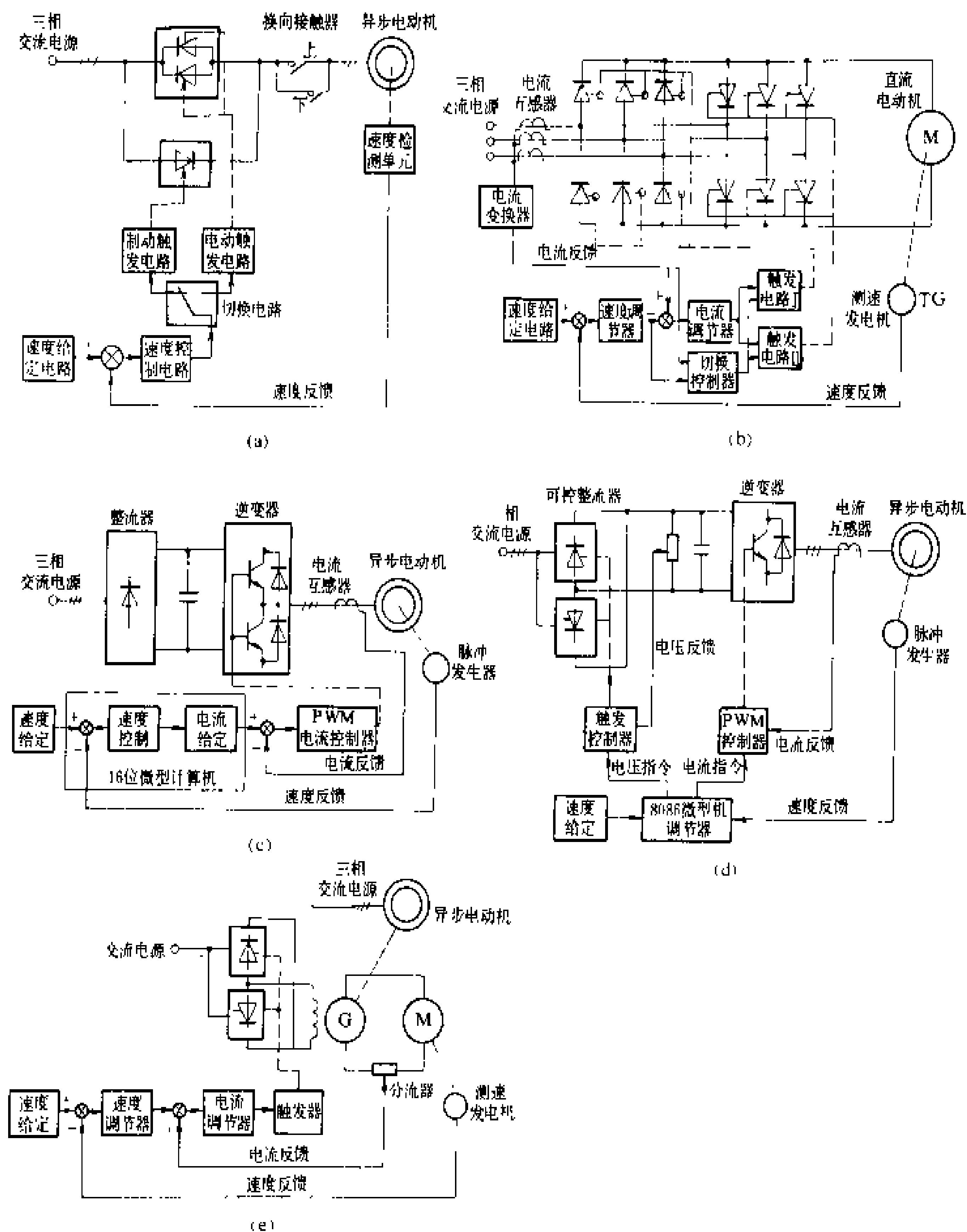


图3 电梯的典型电控系统的方框图

(a)交流调速;(b)晶闸管供电;(c)快速VVVF调速;(d)高速VVVF调速;(e)晶闸管励磁调速

群控制三种方式。调配的基本原则是提高运输效率,降低能耗、缩短候梯时间。单梯通常采用向下集选原则,即以底层为基站,顺向截车,反向最远层召唤自动反向。双梯并联亦采用向下集选原则。为提高效率可采用分区控制原则,即根据两台梯的轿厢位置,运行方向,分配各梯的厅内召唤应答区域,避免两梯一起运行应答同一召唤。在一台梯繁忙,另一台空闲时间,按照延时时间或繁忙区的召唤应答数,使空闲梯发车进入繁忙梯的工作区协助接客。三台以上(八台以下)一般采用梯群控制方式,根据客流情况通过交通分析分配各梯的外部召唤应答区域。交通分析的基本参数如下:大楼客流负载情况,一般可分为正常、空闲(夜间)、上行高峰、下行高峰、层楼高峰、区域高峰等六种情况;

各梯的运行方向;各梯的负载情况,可分为空载、轻载、满载;各梯的相对位置;各梯应答区域内的召唤数;各梯的工作状态,如检修、自动、专用、备用;特殊情况如消防、紧急供电等。系统依据前述调配的基本原则调配各梯运行。

控制系统可用继电器或逻辑单元、微型计算机或PC机构成。采用继电器的控制系统只能实现简单的调配原则,工作可靠性差,维修量大,耗能多,占地大,已趋淘汰。逻辑单元系统采用分立元件和中小规模集成电路组成,国外在70年代曾采用过。70年代末起国际上各大电梯公司均采用微型计算机控制,图4为梯群微型计算机控制系统。微型计算机具有体积小、

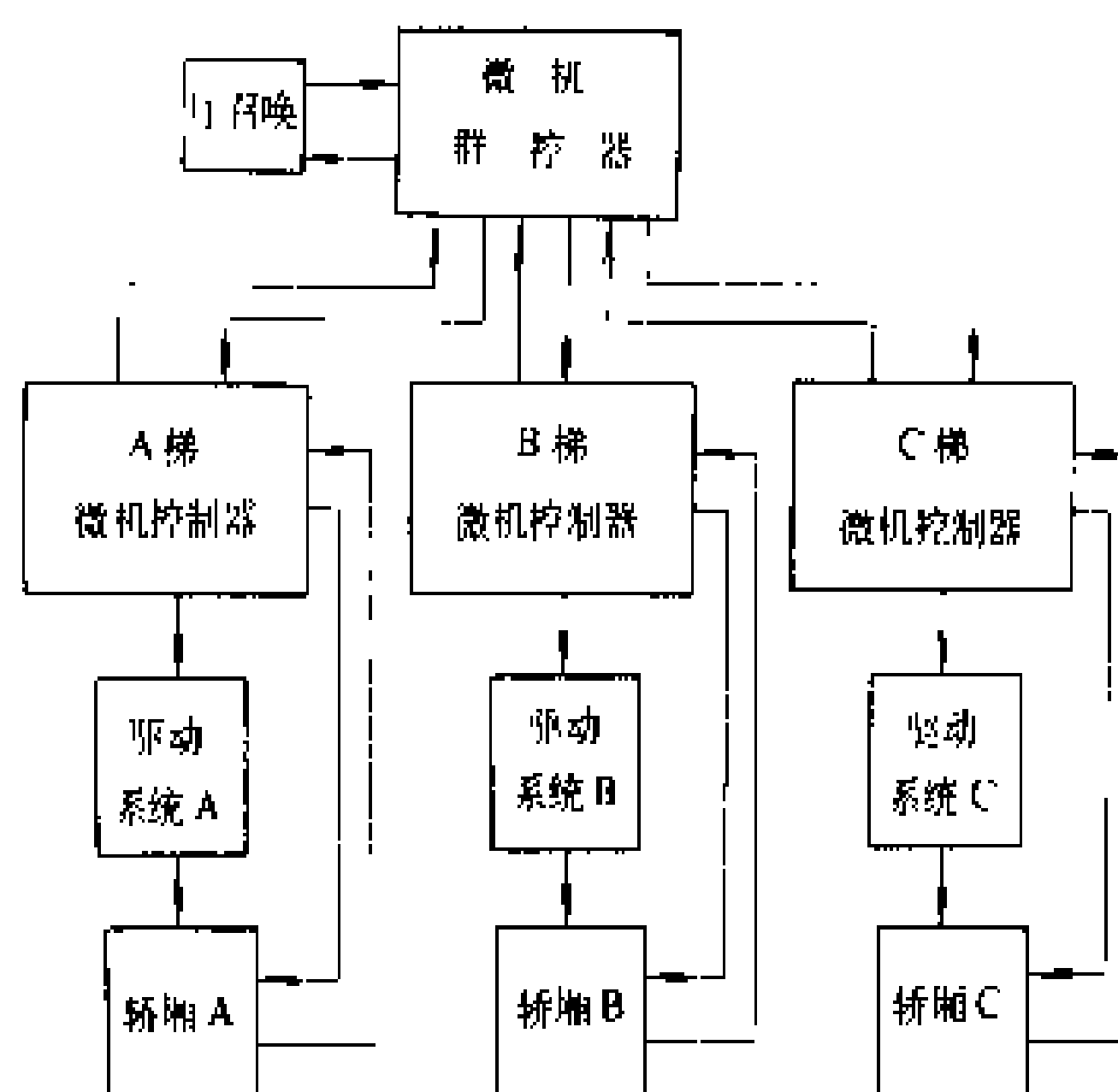


图4 梯群微型计算机控制系统

维护工作量大、耗能少、功能强、灵活、通用性强等优点，但对维修人员的技术水平要求也较高。一般采用每台电梯设置一个微型计算机，调配功能由上级计算机或某台梯的微型机兼营。微型计算机控制是必然的发展方向。

(竺子芳 施传立)

diantuijian

电推剪 (electric hair cutter) 利用电力带动刀片运动,主要用于剪削头发的整容器具。根据带动刀片运动的原动机分类,可分为电磁振动式和电动机式两种。前者结构简单,操作和携带方便,但工作时间长容易发热,且振动噪声较大;后者在额定工作状态下,不易发热,但电机电刷寿命有限,需定期更换。

电磁振动式电推剪应用较广泛。该电器主要由原动机构(E形静铁芯、线圈、弯脚、弯脚头子、反力弹簧和助力弹簧)、上刀片、下刀片和开关等零部件组成,如图1所示。通电后,铁芯线圈产生交变磁场,在磁场和弹簧力作用下,弯脚对应交流的变化吸紧或放松,从而带动上刀片在下刀片上往复运动以剪断头发。

电磁振动式电推剪主要依靠弯脚和铁芯间的空气

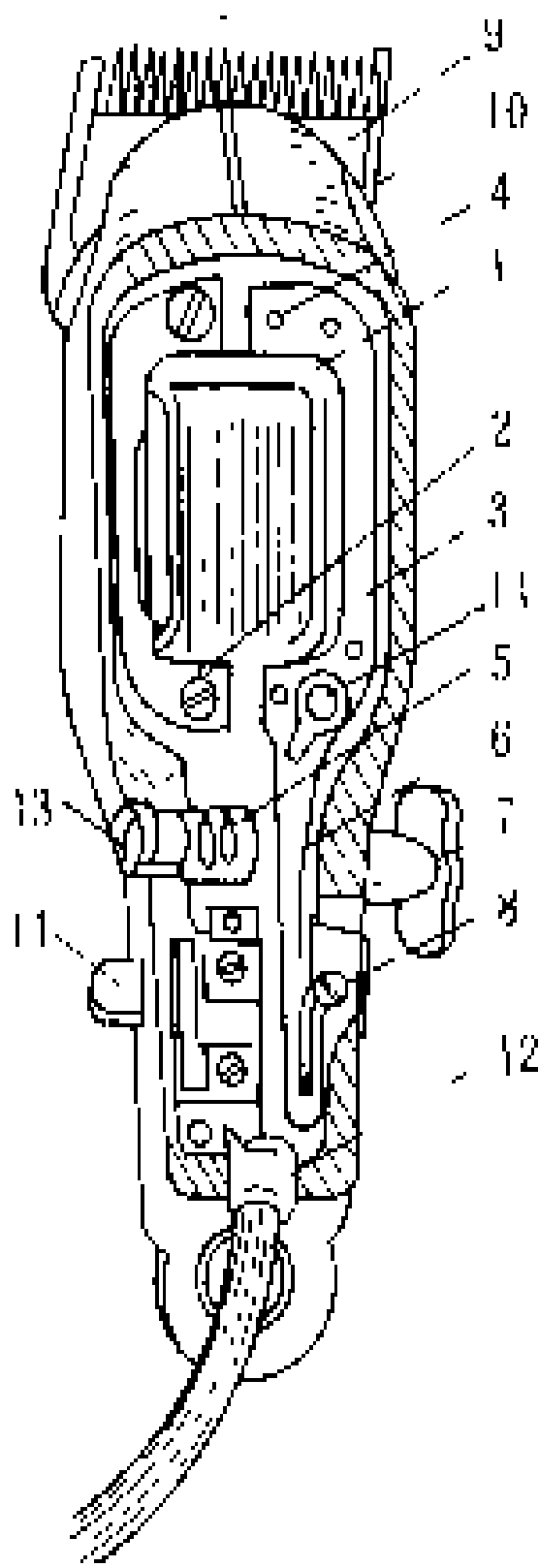


图1 电磁振动式电推剪的结构图

1—线圈;2—E形静铁芯;3—弯脚;4—弯脚头子;5—反力弹簧;6—助力弹簧;7—元宝形螺丝;8—压刀片螺丝;9—上刀片;10—下刀片;11—开关;12—线夹;13—调节螺钉;14—接地螺钉

间隙磁通来工作,间隙大时磁阻大,这时线圈中的电流也相应增大,因而线圈温升较大,长时间连续使用,线圈容易损坏,所以这种电推剪宜间断使用。

电动机式电推剪主要由电动机、蜗轮蜗杆、摇臂、上下刀片组成,如图2所示。通电后,电动机的旋转运动,通过蜗轮蜗杆和摇臂等机构,变成往复运动,从而带动上刀片在下刀片上往复动作来剪断头发。此种电推剪在电动机的额定负荷下工作,温升不会过高,所以只要刀片温度合适,就可较长期工作。但电机电刷易损,需定期更换,电机的噪声及其对无线电的干扰较大,使这种电推剪的应用受限制。

(刘有常)

dianyuanju

电圆锯 (electric circular saw) 用旋转的圆锯片锯割的电动工具。电圆锯主要用于锯割木材,也可用来锯割与木材硬度接近的其他材料,如纤维板、石棉板和塑料板等。手持式电圆锯装置在台架上亦能作为小型台锯使用。

电圆锯的结构见图。它由电动机、底座、防护罩、圆锯片等组成。圆锯片的锯割动力由单相串励电动机经齿轮传动获得。电动机额定输入功率为750~1600W。圆锯片锯割的线速度为50~60m/s。圆锯片的保护罩由静罩壳和动罩壳构成。动罩壳在电圆锯不工作时由于弹簧力的作用处于下落位置,而锯割时即自动卷起。圆锯片用压板夹紧在主轴上。电圆锯上设置有锯割宽度和深度的调节定位装置。电源开关是不带自锁装置的自动复位开关。

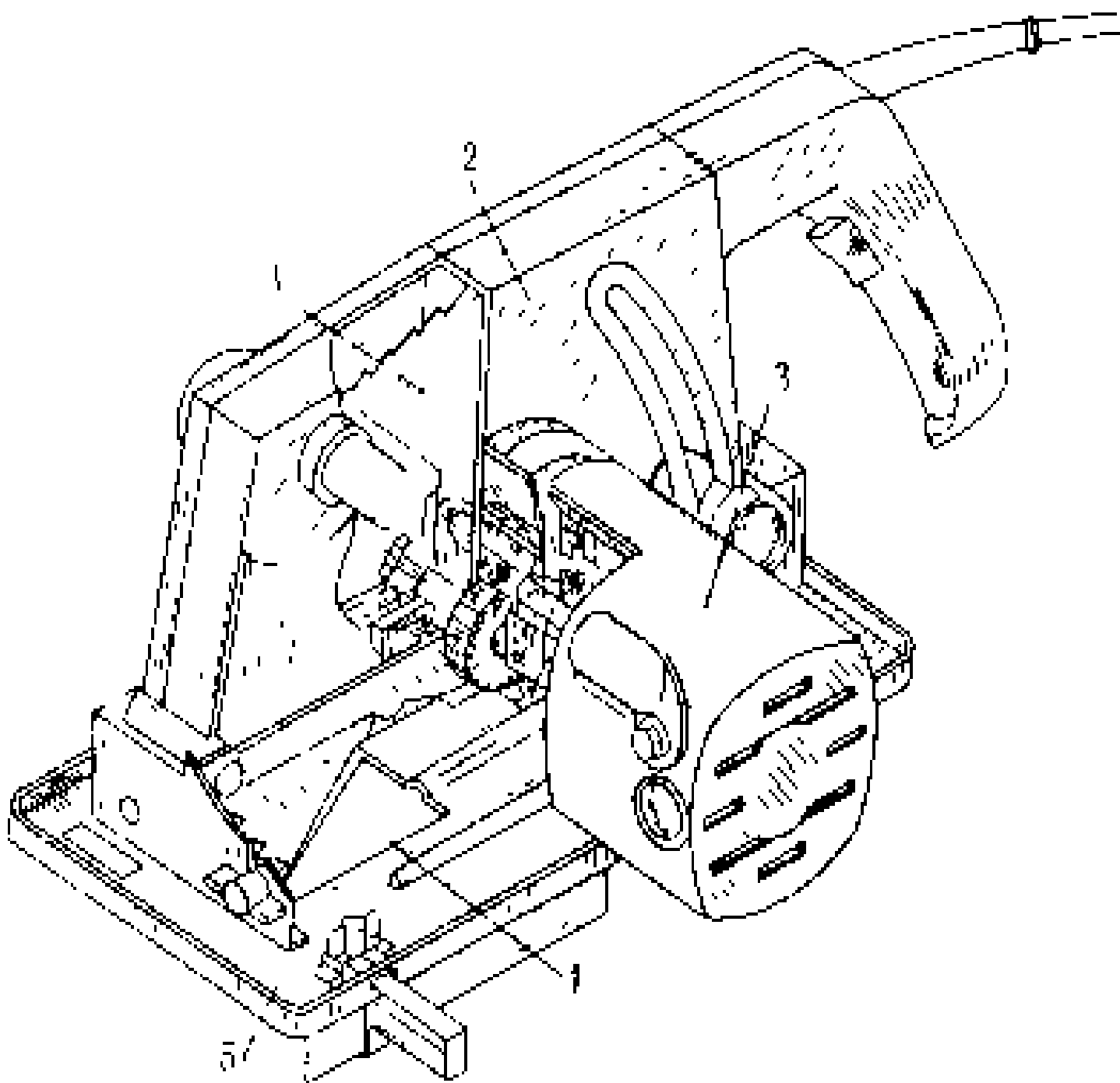


图2 电动机式电推剪的结构

1—上下刀片;2—摇臂;3—蜗轮蜗杆;4—机壳;5—电动机

电圆锯的结构

1—圆锯片;2—静罩壳;3—电动机;4—动罩壳;5—底座

电圆锯上不允许安装有裂纹或变形的圆锯片,使用电圆锯时不允许拆除动罩壳。圆锯片在使用前应修正锯路,磨削锯齿,锯齿依次向左右拨偏适当角度。圆锯片的旋转方向必须与动罩壳上标示的箭头方向相



一致。

斜齿圆锯片用于锯割纵向纤维木材；直齿圆锯片锯割横向纤维的木材。

见家用电动工具。

(李邦协)

dianyundou

电熨斗 (electric iron) 利用电热熨烫衣物、花绣、针纺织品等的熨烫器具 (见家用电器)。家用电熨斗的功率一般为 100~1200 W。服装行业使用的工业电熨斗采用吊瓶式喷汽电熨斗，功率一般为 1000~1200 W。(参见彩图插页第 30 页 92 图)

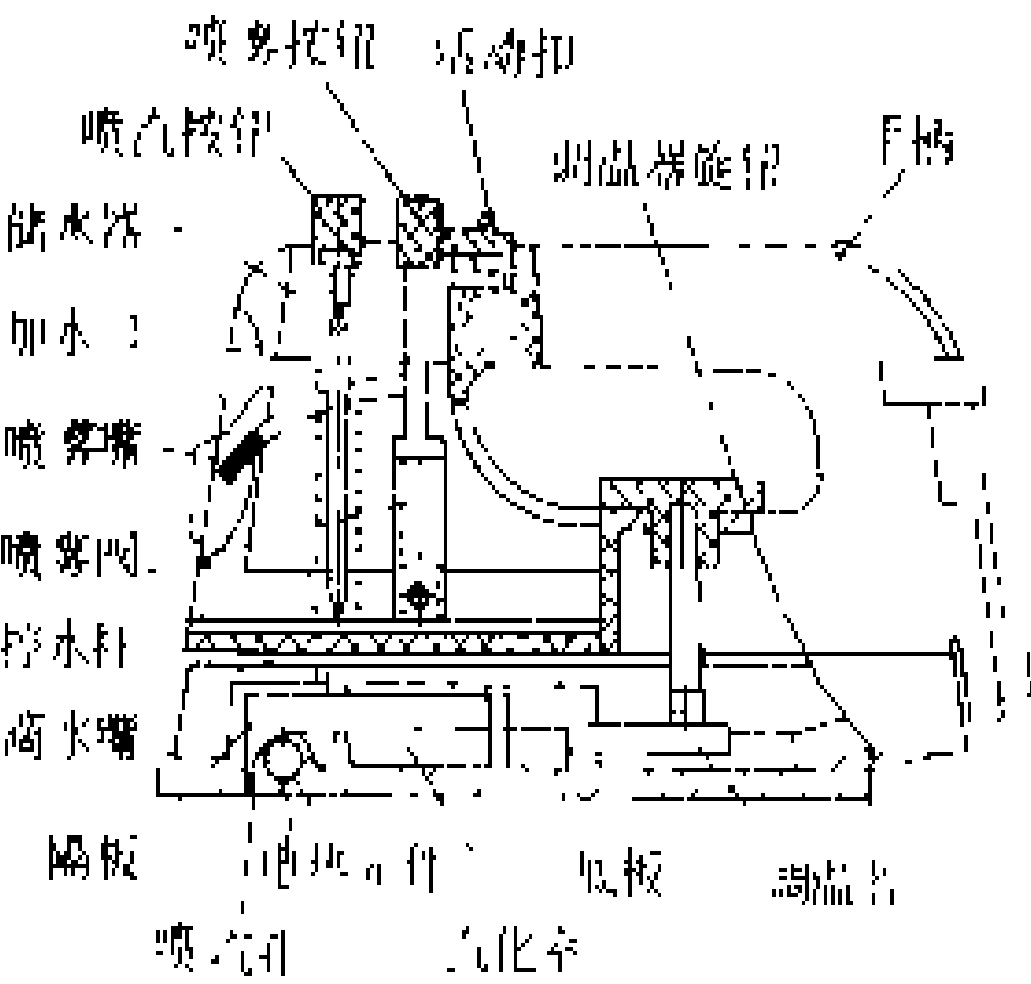
1882 年美国 H. W. 西利 (H. W. Seely) 获得第一个电熨斗专利。20 世纪初，美国 E. 理查德森 (Earl Richardson) 发明的电熨斗投放市场受到欢迎。电熨斗的广泛使用改变了当时仅在夜间供电的传统，促使其他家用电器相继上市，因此人们认为美国的家用电器工业发迹于电熨斗。电熨斗结构简单，制造容易，使用方便，发展很快。

20 世纪 70 年代末出现了几种结构迥异的电熨斗，其中有：①盐液蒸汽电熨斗，采用离子导电加热，用食盐水溶液作导电介质。②涡流型电熨斗，利用外部交变磁场在电熨斗的金属底板内部产生感应电动势引起涡流而使电熨斗底板发热，不需要电热元件。

电熨斗按结构和功能一般分为四类：①普通型，是电熨斗中的最基本型式，不能调节温度，已逐渐被淘汰。②调温型，可根据不同织物要求，控制熨烫温度。③蒸汽型，具有调温和喷汽双重功能，代替了人工喷水。④蒸汽喷雾型，具有调温、喷汽、喷雾多种功能。

普通型电熨斗的结构简单，主要由底板、电热元件、压板、罩壳、手柄等部分组成。在普通型电熨斗上增加温度控制装置即成为调温型电熨斗。温度控制元件采用双金属片，利用调温旋钮改变双金属片上静、动触点之间的初始距离和压力，即可获得所需的熨烫温度，调节范围一般为 60~250℃。在调温型电熨斗的基础上增加蒸汽发

生装置和蒸汽控制器，即构成蒸汽型电熨斗。蒸汽喷雾型电熨斗的结构比蒸汽型电熨斗多了一个喷雾系统。其喷汽系统和蒸汽型电熨斗相同 (见图)。当底板温度



蒸汽喷雾型电熨斗结构图

高于 100℃ 时，按下喷汽按钮，控水杆使滴水嘴开启，水即滴入汽化室内汽化，并从底板上的喷汽孔喷出，喷雾装置与产生蒸汽的装置是互相独立的，手掀喷雾按钮，喷雾阀内活塞向下压，使阀内的圆钢球将阀底部的孔紧紧封闭，阀内的水便通过活塞杆的导孔由喷雾嘴形成雾状喷出，松开手后，喷雾按钮自然复位，由于阀的作用，储水室内的水将阀底部的圆钢球顶开，通过阀底孔进入阀内。

电熨斗的底板一般用铸铁经电镀抛光，或用铝合金经喷涂聚四氟乙烯涂层制成。常用的电热元件有两种，一是在云母骨架上绕电热丝构成，一是管状电热元件。新型的 PTC 元件 (正温度系数热敏电阻) 和薄膜加热元件已在电熨斗上应用。

(陈祖勋)

dianzao

电灶 (electric range) 一种利用电热烹饪食物的组合式厨房器具。按其外形分为综合式柜型电灶和扁型电灶两种；按其功能分为普通型电灶和电子控制型电灶。其规格以灶板数目或耗电功率来表示。

电灶结构因种类不同而异。图示为综合式柜型电灶，其外形像“柜”，并由电炉、电烤炉、储物抽屉和电灶控制装置五部分组成。灶体由金属板制成两层的壳体，中间填充耐热绝缘材料；电炉基本与封闭式家用电炉相同，采用电热管作电热元件，设在灶体上部，常有两大两小四个灶板 (发热板)，可加热各种锅具；烤炉即灶式电烤箱，设在灶体的中部，炉内设有上下两组电热元件，通过温度控制器，灶温可控制在所需范围；储物抽屉设在灶体的下部，存放各种食物及厨具。控制装置的控制面板上，有多个灶板和烤炉的开关、恒温器、定时器的调节旋钮和指示灯等。通过对它们的调节和设定，可以达到控制食物的烹饪时间和自动控制炉温的目的。



综合式柜型电灶

综合式柜型电灶的规格

功 率		灶 板 数			
电 炉	电热元件功率 (W)	1×1000	1×1000 1×1200	1×1000 1×1500 1×2000	2×1000 1×1500 1×2000
	灶面功率 (W)	1000	2200	4500	5500
电烤炉功率 (W)		1000	1200	2400	2400
电灶总功率 (W)		2000	3400	6900	7900



中国常见的电灶，大多为两灶板式和四灶板式两种规格。前者是带有恒温或定时的扁型电灶；后者是多功能（如图所示）综合式柜形电灶，其规格见表。

电灶是耗电量较大的电热器具，耗电功率大多不小于 2 kW，使用时应特别注意安全：第一要求供电线路不超载，避免因超载过热引起的火灾事故；第二要求电灶接地线规格符合规定并确保可靠接地，以防电击伤人。

（张应端）

dianzha chongronglu

电渣重熔炉（electroslag remelting furnace）

利用电流通过高电阻熔渣产生的热能对金属进行再熔炼的电阻炉，简称电渣炉。

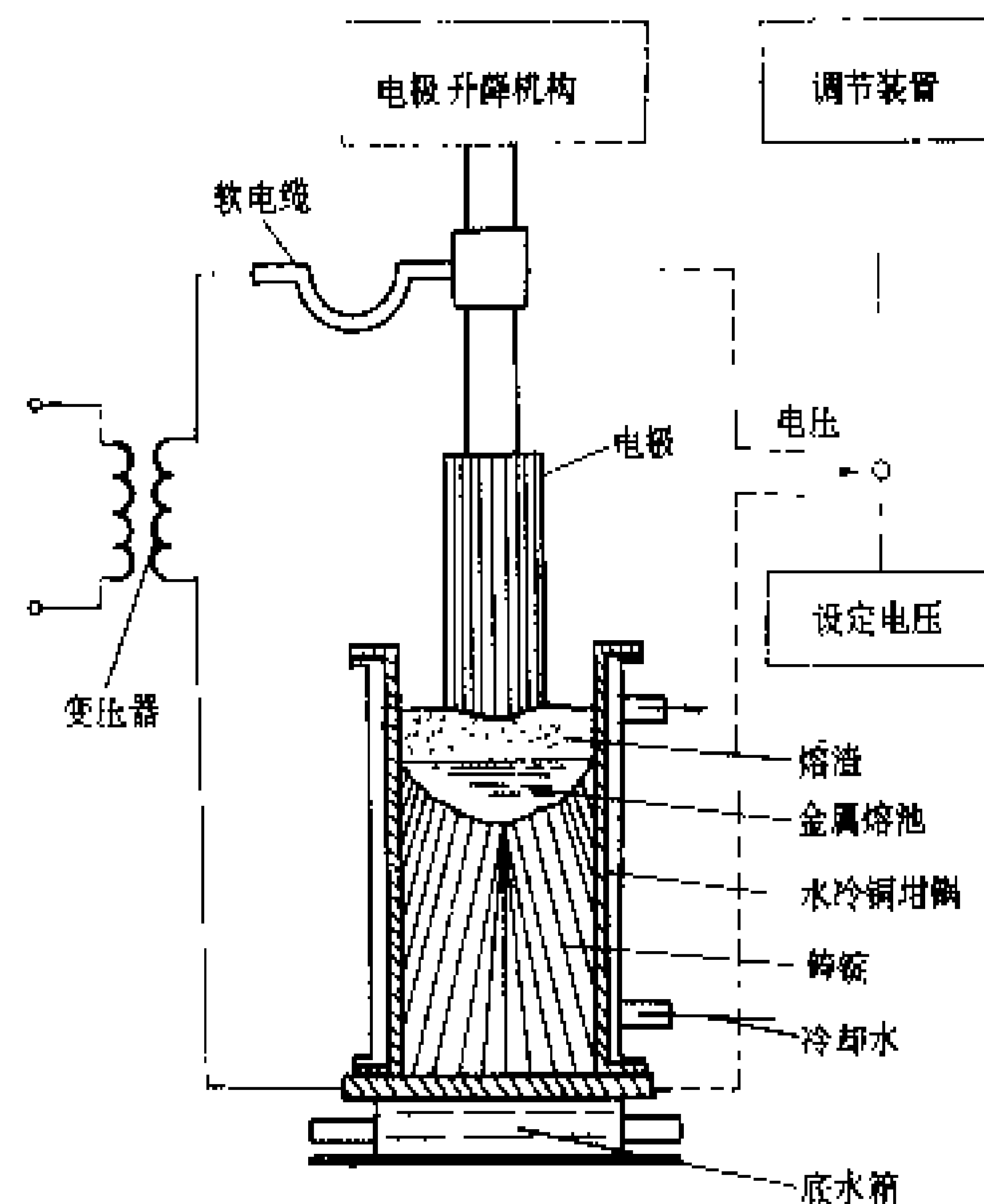
电渣重熔炉的用途广泛，采用不同渣料可用于熔炼各种合金结构钢、耐热钢、轴承钢、锻模钢、高温合金、精密合金、耐蚀合金、高强度青铜，以及其他铝、铜、钛、银等有色金属的合金；采用不同形状的结晶器可以直接生产大直径铸锭、厚板坯、中空管坯、大型柴油机曲轴、轧辊、大型齿轮、高压容器、砲管等优质铸钢件。

电渣精炼方法是美国 R.K. 霍普金斯（R.K. Hopkins）于 20 世纪 40 年代提出的。其后，苏联和美国相继建造了工业生产用电渣炉。从 60 年代中期起由于航空、航天、原子能等工业的发展，电渣重熔炉在苏联、西欧各国和美国得到较快发展。1980 年世界电渣重熔钢的产量已超过 120 万 t。中国于 1960 年建成第一座电渣炉，其后，有很大发展。最大的电渣炉在上海重型机器厂，可产重达 200 t 的铸锭。

原理 如图所示，自耗电极由被熔炼材料本身制成，其下端插在渣池中。电流流过熔渣产生的电阻热（见电阻加热）使电极端部逐渐熔化。在熔滴形成并穿过渣层进入金属熔池的过程中，熔滴与熔渣发生强烈冶金反应，使金属中的非金属夹杂物得以有效清除，使金属得到精炼。熔滴在水冷铜坩埚（又叫结晶器）中汇集成熔池并逐渐凝固成铸锭。

渣料成分随所炼金属种类而异。炼钢用的渣料多数含大量氟化钙（为 50%~95%），其熔点为 1200~1450℃，渣液密度为 2.5~3.3 g/cm³，电阻率在 1600℃时为 0.15~1.00 Ω·cm。

特点和用途 与真空电弧炉和电子束熔炼炉（见电子束加热）比，电渣重熔炉有以下特点：①由于存在熔滴与熔渣的冶金反应，除去非金属夹杂物效果好，重熔后金属纯度高，热塑性好；②用交流电，不需要真空，设备简单，投资少，生产成本低；③更适宜于生产大直径铸锭和异型铸锭。但电渣熔炼不适宜于精炼钛、锆、



电渣重熔炉原理示意图

钼等易氧化的金属；对环境污染较大，须有除尘和去氟装置。

设备 由炉体、供电系统、控制系统和必要的辅助设备组成。炉体包括电极立柱和升降机构、电极夹头，水冷铜坩埚、底水箱、冷却水系统等。供电系统包括电炉变压器、开关柜和供电线路。控制系统包括电极升降调节装置，冷却水压力、温度监控系统等。辅助设备主要是化渣炉和排烟除尘装置等。

所用自耗电极由其他熔炼炉炼制的金属材料制造或锻造而成，一般要用机械加工或酸洗的方法除去其表面氧化皮和污垢，并在表面涂上保护涂料。

结晶器做成两种型式。一种底部固定；另一种底部连接抽锭机构，可往下抽动，用来以不高的结晶器制取长的铸锭。

电渣炉通常用交流供电，有单相，也有三相；根据铸锭的形状可只用一根电极，也可用两根、三根或多根电极，多根电极在炉内对称布置。为降低线路电抗，提高功率因数，采用双线制的往返导体，或用低频（如 3~10 Hz）交流供电（见短网），也有用直流供电的。电炉变压器的二次电压为 80~130 V，分级（5~8 级）或连续可调，炉子的工作电流每 100 mm 坩埚直径为 1500~3000 A，可在大范围内调节。炼钢的电耗为 700~1800 kW·h/t。

控制系统的主要任务是调节电压与电流的大小、电极下降速度、抽锭速度等，以获得平坦宽阔的熔池，使金属晶粒尽可能沿轴向生长，获得优质铸锭。

（邓廷佐 蒋聪吉）

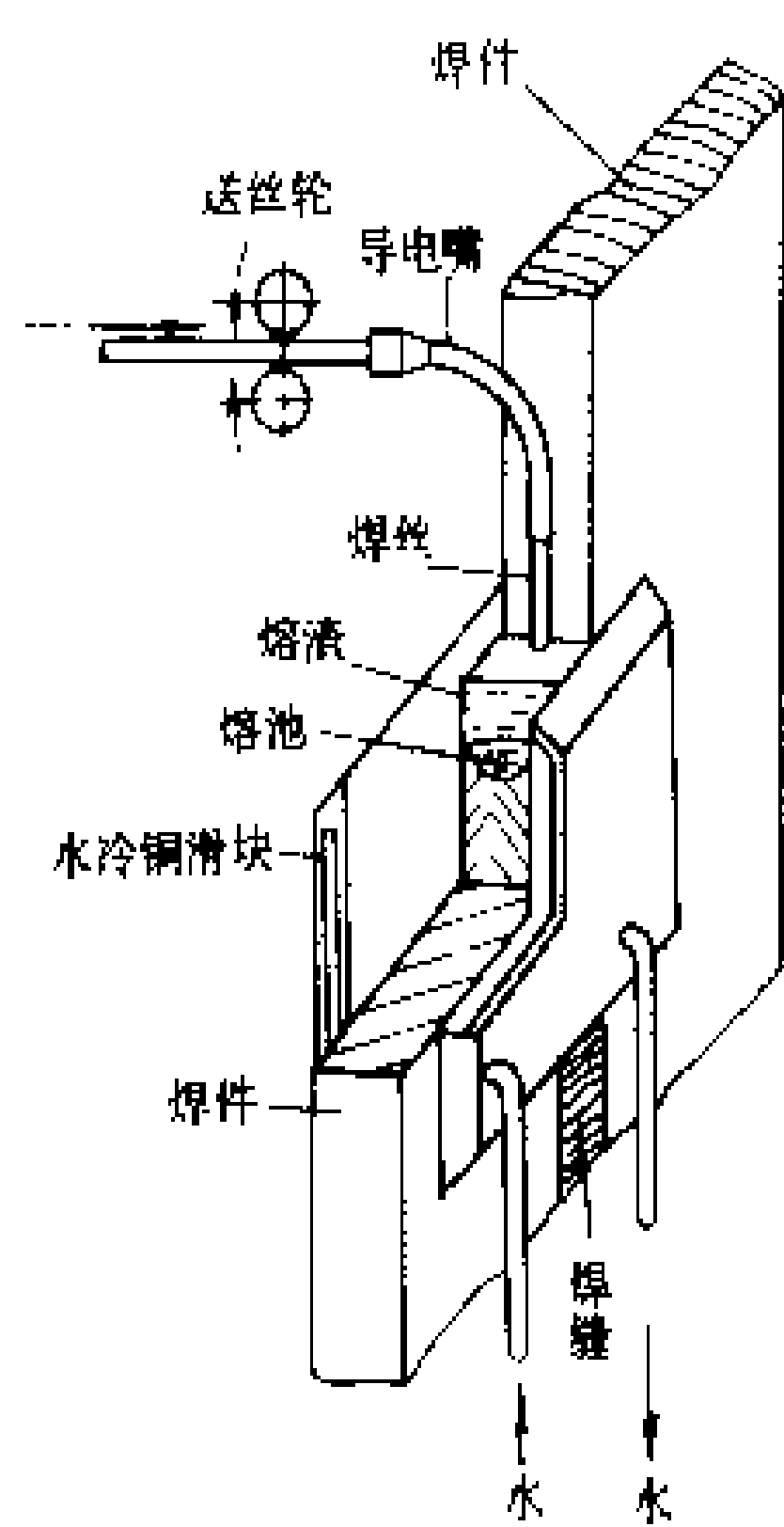
dianzhahan

电渣焊（electroslag welding） 利用电流

通过液态熔渣所产生的电阻热进行焊接的方法（见电焊）。

电渣焊是1951年苏联巴顿（ПАТОН）电焊研究所创造的，问世以来一直是大厚度焊件的高效焊接方法，在重型机械制造和造船工业中得到较广泛的应用。

如图所示，焊接时由水冷铜滑块与焊件构成的凹槽贮存熔融金属和熔渣；焊丝向下连续送入渣池；焊接电流通过熔渣时产生的电阻热使熔渣保持熔融状态并对焊丝和焊件加热；焊丝熔化后沉积在熔渣层下，并与熔化了了的焊件金属一起形成金属熔池；随着水冷铜滑块的上移，熔池逐渐凝固成为焊缝。焊接过程中熔渣对熔池起保护和净化作用。



电渣焊示意图

图中所示出的是单根焊丝，根据不同的焊接要求，也可用多根焊丝、板状电极，或以熔化导电嘴代替不熔化导电嘴。在用熔化导电嘴时，导电嘴是固定的，而焊件向上移动，熔化导电嘴的外表面上涂有焊剂，其长度决定于焊缝的长度。

电渣焊用于碳钢、低合金钢、不锈钢、镍和镍合金，以及铝和铝合金等大厚度（20~1000 mm 以上）焊件的焊接。其特点是：①生产效率高；②焊接过程平稳，无飞溅，劳动卫生条件好；③焊件不需开剖口，可节省人工和金属材料；④焊缝金属纯净，不易产生气孔、夹渣等缺陷；⑤焊缝一般不会出现淬火组织和冷裂纹。

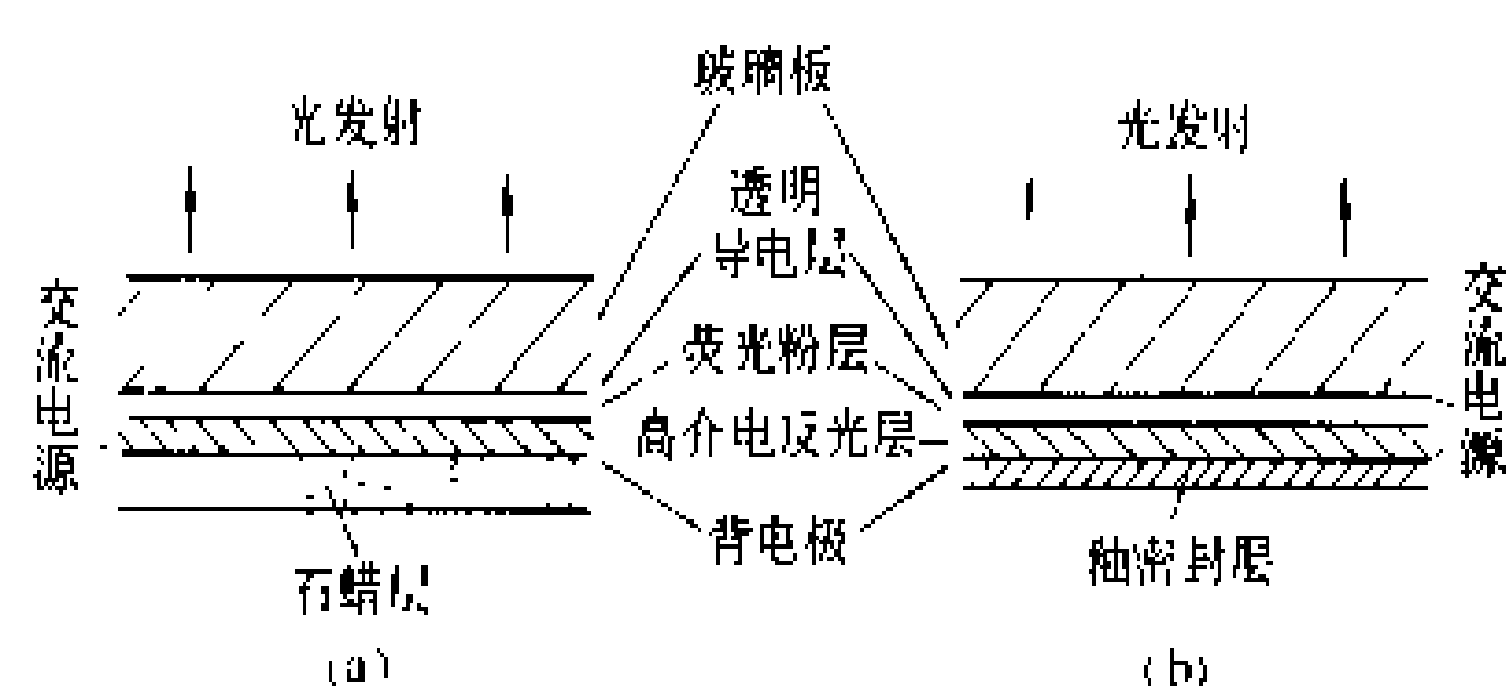
电渣焊设备主要由电源、送丝机构、焊机移动机构、水冷铜滑块和控制系统等组成。电源可用平特性的弧焊变压器或弧焊整流器（见弧焊电源）。焊接电流可大到数千安培。

参考书目

姜焕中．电弧焊及电渣焊．北京：机械工业出版社，1988

（杜 峰）

电致发光原理制成的。它的结构基本上是一块平板式的电容器，以荧光材料为介质，其中一个电极透明，可传光从中发出来。灯的荧光粉通常以硫化锌为基础，经过电场激发后，产生黄、绿或蓝色光。灯的发射频带与受紫外线辐射激发的硫化物的发射频带极为相似。如图所示，电致发光灯可根据其荧光粉的键合材料的不同分为有机和陶瓷两大类，而后再根据所用的衬底的不同，进一步将灯分为若干种不同类型。



电致发光灯的剖面图

(a) 有机电致发光灯；(b) 陶瓷电致发光灯

(1) 陶瓷电致发光灯：由金属平板、基底涂层、陶瓷层中的荧光粉层，透明导电膜和透明釉面五层组成。灯可做成各种平面形状，板上可以有孔或缝隙。长方形的电致发光灯的最大标准尺寸是 250 mm×200 mm。发光面可延伸至距离边缘或孔和缝隙边缘约 1 mm 之处。

(2) 有机电致发光灯：采用有机介质材料，将荧光粉和反光粉粘在一块涂有透明氧化锡的导电薄膜的玻璃板上。导体表面先涂一层荧光粉，再涂一层钛酸钡，使光向前发射，并提高整个介质的常数，最后再在背面加镀一层金属或导电性涂料而作为电极层。为了防止水分浸入造成介质击穿，需要在灯的背面涂以石蜡和铝箔或其他材料作为防水层。

(3) 玻璃加陶瓷的电致发光灯：除涂层用透明釉而不用有机材料外，在结构上比玻璃上加有机物的灯更能防止水分渗透。但由于正面的导电玻璃片是作为结构的基础，在它上面有多层结构，因而荧光粉也须在灯制成前经过若干次加热，结果使灯的亮度往往低于其他电致发光灯。

(4) 塑料电致发光灯：结构与玻璃上加有机物相似，所不同的只是它采用透明的韧性塑料代替玻璃作为基底，并在其中一面上蒸镀一层透明的金属氧化物作为导电层。灯的背面不用石蜡保护，而是将基板封装在透明的外壳内，成为一个厚度约 1 mm 的半韧性灯。这种灯难以防止水汽入侵，从而缩短了灯的使用寿命。

(5) 直流电致发光灯：可分为真空蒸镀硫化锌连续薄膜灯和能使直流电通过荧光粉层的灯。这类灯的稳定性和寿命问题尚待解决，因而未能大量推广应用。

电致发光灯的种类和制造方法不同，灯的特性和

dianzhi faguangdeng

电致发光灯 (electroluminescent lamp)

由荧光粉在电场的直接作用下发光的电光源。一般的电致发光灯和器件是利用“本征”或“德斯特里奥”



用途也不同。玻璃上加有有机物涂层结构,对简单的方形或圆形电致发光灯是最理想的,主要用于字母-数字显示和飞机仪表盘的照明;塑料结构的灯最适宜作为危险信号的发光标志;由于陶瓷结构的灯,适合大批量生产,而且发光均匀,很少或无需维修,再加上它的寿命长以及坚固耐用等优点,所以在发光电钟盘面、标志开关的亮圈以及发光标度盘等上面得到广泛的应用。总之,电致发光灯的亮度和光效都较低,难以用它代替高亮度的白炽灯和放电灯作为空间照明,只能根据它的特点,应用于那些表面发光要求均匀、亮度又不高,而且占据空间很小的照明中。

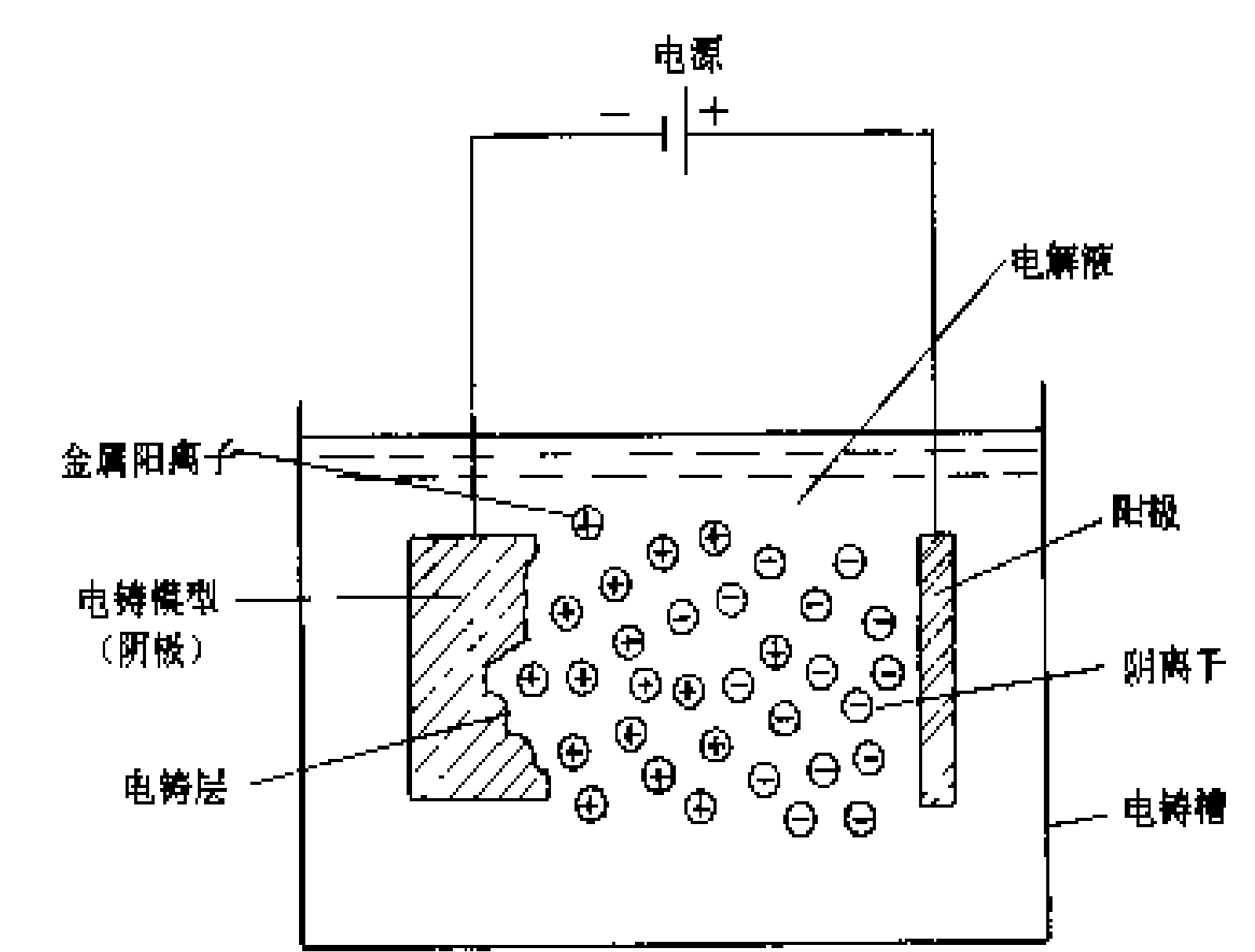
(肖辉乾)

dianzhu

电铸 (electroforming) 利用电解原理制造金属复制品的技术。电铸还用于不使用机械加工制作的金属精密制品,如印刷铜板、铭牌、各种精密零件等。所镀金属多为铜、镍、铁等。

电铸和电镀类似,其区别在于:①电铸镀膜要从模型上脱下来;②电铸的镀层要比电镀的厚 10~50 倍。

电铸原理见图。首先以需要铸造的原始物件做成的、可以导电的电铸模型作为阴极,以复制件所需的金属为阳极,在阳极金属盐水溶液中进行电解,当模具表面上沉积了所需厚度的金属层时,即可从电解槽中取出、脱模,得到与模型完全一样的金属复制品。



电铸原理示意图

电铸模型有非金属和金属两种。

(1) 非金属电铸模型。用合成树脂、石膏、石蜡等制成模型后进行导电处理。可用喷涂法、真空蒸镀法或化学还原法在电铸模型表面形成薄银膜,或在其上涂敷细石墨粉的浆液。

(2) 金属电铸模型。多用铅、铅合金、铜、镍等制作。利用原始物件,以铸造、加压成型等方法,将上述金属制成电铸模型。对金属电铸模型也要进行表面处

理以利脱模。可在金属电铸模型上生成氧化膜,也可以像处理非金属模那样,在其表面上生成薄银膜或涂敷石墨粉浆液。

(马荫华)

dianzi daoti

电子导体 (electronic conductor) 以自由电子传导电流的物体,又称第一类导体。金属、石墨和某些硫化物等即为电子导体。电流通过电子导体时,除导体温度升高外,导体本身不发生变化。金属结晶格中的阳离子与其价电子的联系很弱,价电子的行动极为自由,在没有外电场作用时,电子无秩序地向各个方向移动,当加上外电场时,电子即向正极方向流动,在导体中形成电流。通常规定与电子流动方向相反的方向为电流的正方向。温度升高时,金属电子的热运动受到阻碍,电流减弱,所以电子导体的导电能力因温度升高而降低。

(马荫华)

dianzi kongzhi shebei di dianci jianrongxing

电子控制设备的电磁兼容性 (electromagnetic compatibility of electronical control equipment) 电子控制设备运行时在不损害信号所含信息的条件下,信号和干扰共存的能力。一切电气、电子设备在工作时都会通过其元器件、导线等组成部分向周围发出对其他电子设备无用的电磁能量,称为电磁噪声。电子设备周围的各种电磁噪声与有用信号混杂在一起,构成了该电子设备的电磁环境。电磁环境中的电磁噪声可能损害有用信号,对电子设备的工作产生不良影响,这些电磁噪声就称为电磁干扰,简称干扰。当侵入电子设备的干扰超过一定限度,电子设备便不能完成规定的功能,甚至造成元器件损坏,成为干扰故障。为此,电子控制设备应能承受一定程度的电磁干扰,不致发生干扰故障,电子控制设备之间应不致产生影响设备正常工作的电磁干扰。这就是电磁控制设备应具有电磁兼容性。

电磁干扰源 任何能产生电磁干扰的物理实体或自然现象。电磁干扰可能由各种电气、电子设备和元器件产生,如输配电线路、高频加热设备、电动机、电焊机、开关、继电器、变流设备和信息处理设备等产生的干扰,称为工业干扰;也可能由天文气象中的某些大自然现象产生,如雷电、太阳黑子等产生的干扰,称为自然干扰。干扰主要由放电现象、接触现象、电路中的过渡过程、无用信号和电磁波反射等引起。这些电磁干扰源可能存在于其控制设备内部,称为内部干扰,它主要取决于设备的设计和制造;也可能存在于控制设备外

部,称为外部干扰,它主要取决于设备所处的电磁环境。

电磁干扰的传输 由干扰源到受干扰的对象之间,电磁干扰主要靠传导和辐射进行传输。

传导干扰 沿导线传送的干扰。干扰源产生的干扰可以通过与其相连的导线如电源线、信号线等(包括电容器、变压器等元件),直接传导到其他与其相连的电子设备;与电子设备相连的导线在经过有干扰的电磁环境时,可能从空间拾取某些干扰,经该导线再传入电子设备;通过接地回路引入的干扰也是一种典型的传导干扰。传导干扰的主要类型有对称干扰和不对称干扰。

(1)对称干扰。干扰电压作用于受扰回路的两根导线之间(见图1),也称为常模干扰和差动干扰。对称干扰可能直接产生于回路的两导线之间,也可能由不对称干扰转化而来。它们叠加在有用信号上侵入电子设备。

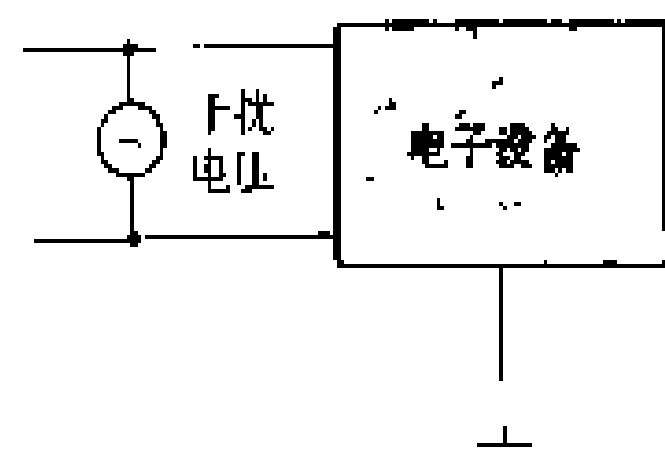


图1 对称干扰

(2)不对称干扰。干扰电压作用于受扰回路的导线与大地之间(见图2),通常在转化成对称干扰后才显示其影响。由于不对称干扰特别是交流不对称干扰电压存在很广,其影响也较大。

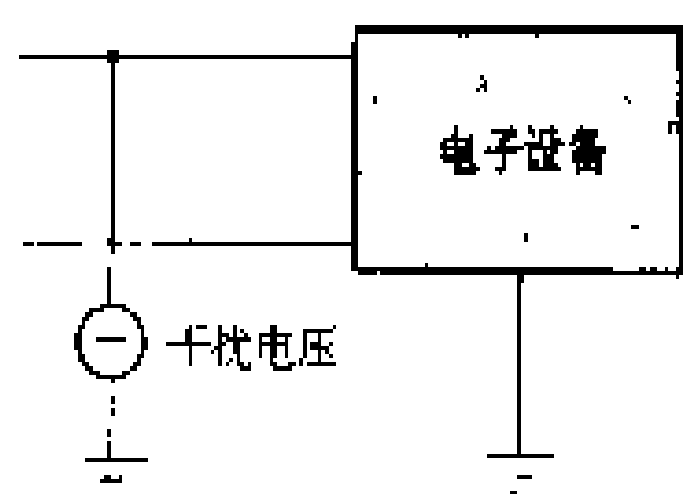


图2 不对称干扰

辐射干扰 以感应场和电磁波形式经空间传递的干扰。干扰源中有电荷变动的部位,其周围的电磁场也发生相应变化。离开干扰源的距离远小于 $\lambda/2\pi$ (λ 为电磁波的波长)的空间称为近场,又称感应场。高压小电流干扰源的近场主要为电场,当干扰源的电压变化时,通过静电感应对位于近场中的导体产生干扰。低压大电流干扰源的近场主要为磁场,当干扰源的电流变化时,通过电磁感应对位于近场中的导体回路产生干扰。离开场源的距离远大于 $\lambda/2\pi$ 的空间称为远场。远场中干扰以电磁波的形式向外发射,场中各点处的电场强度 E 与磁场强度 H 的比值为—仅依赖于场介质的常数,对真空和空气 $E/H=377\Omega$ 。在远场中电子设备的金属框架、导线、元器件等导体象天线一样吸收辐射干扰。

干扰的量度 干扰的量度包括干扰发送量与干扰敏感度。

干扰发送量 干扰源向外发出的干扰的度量。传导干扰的发送量以连接外部导线的端子处,不同频率下的干扰电压表示,称为干扰端子电压。辐射干扰的发送量以距设备一定距离处、不同频率下的干扰场强(通

常用电场强度)表示。静电放电干扰的发送量以放电电压表示。由于要表示的量值范围很大,实用上干扰电压和干扰场强常以它们相对于基准量的分贝数表示,基准量分别为 μV 和 $\mu V/m$,记为 $dB(\mu V)$ 和 $dB(\mu V/m)$ 。为保护无线电广播、电视和各种通信业务,普遍采用的国际标准是国际电工委员会(IEC)所属国际无线电干扰特别委员会(CISPR)制订的标准。但为保护电子控制设备免受干扰的电磁兼容标准还很少。

干扰敏感度 电子设备对造成其性能劣化或不应有响应的干扰的敏感程度的度量。干扰敏感度以使电子设备产生性能劣化或不应有响应的最小干扰量表示。对传导干扰和辐射干扰的敏感度分别称为传导敏感度和辐射敏感度,并分别以干扰电压和干扰场强表示,实用上通常以分贝数表示。

时间特性和频率特性 干扰随时间而变化的特性称为时间特性。干扰与频率有关的特性称为频率特性。各干扰源的干扰可能具有差异极大的波形、周期、持续时间,乃至是脉冲、脉冲列或随机的,因此各干扰源的干扰发射量也就具有不同的时间特性和频率特性。一般地说,宽带干扰宜用时间特性(如脉冲干扰的幅值、宽度和上升时间等)表示和测量;狭带干扰和作用于狭频带设备的干扰(如广播、电视等设备的干扰)宜用频率特性表示。从干扰对电子控制设备的作用看,干扰的时间特性起决定作用,同时时间特性还具有直观的优点,并可由时间特性导出频率特性。但在干扰的发送、耦合、滤波、屏蔽等方面的测定和计算时则需采用频率特性。同时由于电子设备本身的特性,其干扰敏感度多以频率特性表示。采用干扰的频率特性(也称为频域)便于对电子设备进行电磁兼容性评价,所以,无论对以狭频带方式工作的无线电电子通信设备,还是在电子控制设备的电磁兼容实践中,都广泛采用干扰的频率特性,仅在持续性干扰等个别情况才用干扰的时间特性。

干扰抑制 为了实现电磁兼容,必须使电磁环境中作用到电子控制设备的各种干扰量低于电子控制设备对相应干扰的敏感度,同时电子控制设备本身发出的干扰也应小于规定值。当不能满足上述要求时,应针对不同的电子控制设备所受的干扰加以抑制。抑制的措施应在电子控制设备的设计阶段就开始规划,并在制造、安装、运行的各个阶段都按照符合电磁兼容要求的规范进行,才能以最经济的代价达到电子控制设备的电磁兼容。

消除或降低干扰影响的措施,包括消除干扰的产生或减少干扰发送量、切断干扰的传递或加大传递过程中的衰减以及提高电子控制设备的抗干扰能力或降低其干扰敏感度三方面的各种措施。



为减少干扰发送量，根据不同的干扰源可采用电源滤波器、火花抑制器、浪涌抑制器、电源旁路电容器等措施，以及改进接地系统、设置局部或整机屏蔽等。

为减少传导干扰，可采用电位隔离、滤波、分开敷线、绞线、屏蔽线、合理接地等措施。对对称干扰，主要采用施密特触发器或滤波器，利用电平或频率特性的差异将已传入的对称干扰与有用信号分离开并加以抑制。对信息处理设备还可利用程序滤波等软件方法消除已侵入的对称干扰的影响。对不对称干扰，可以采用电位隔离、静电屏蔽、共模扼流圈、线路对称化、降低输入阻抗、改进接地回路等措施抑制不对称干扰的传递和影响。

为减少辐射干扰，可采用静电屏蔽、磁屏蔽、电磁屏蔽、加大空间距离等措施抑制辐射干扰的传递。辐射干扰对电子设备的作用通常具有频率选择特性，即某个频率附近的辐射干扰的作用远大于其他频率下的辐射干扰。这是由于电子设备的金属框架、导线、元器件等导体象天线一样吸收辐射干扰，而天线通常具有频率选择特性。为了降低电子设备的干扰敏感度，主要通过合理设计线路、选择元器件、配置结构和改进工艺等来实现。对感应或辐射敏感的部分可采用局部屏蔽、对整个设备充分利用金属结构件的屏蔽作用、采用新型导电塑料或内附金属涂敷层的塑料代替普通塑料外壳等方法抑制辐射干扰的入侵，降低电子设备的辐射敏感度。

发展简况 早在应用电子通信设备的初期便发现，电子通信设备之间有相互干扰，也可能受某些电气设备的干扰，于是便开始了电子通信设备电磁兼容性的研究。自 20 世纪 60 年代开始大量应用电子控制设备以后发现，它们不仅可能互相干扰，也可能对电子通信设备产生干扰，还可能受某些电子通信设备的干扰，电子控制设备的电磁兼容性开始受到注意。在初期仅限于在个别方面采取抑制措施，所用的方法也多是经验的和定性的，习惯上称为抗干扰。随着电子控制设备的发展，其应用范围日益扩大，成套化程度不断提高。由于电力电子装置容量增加很快，加上各种电气装置工作时发出强烈的干扰，而控制电子装置则趋向于微电子化，其信号电平很低，工作频率很高，很易遭受干扰，加之强弱电装置的组合十分紧密，使电子控制设备的电磁环境变得很复杂，电子控制设备之间及其与电子通信设备之间发生干扰的可能性增多，危害性扩大，因此，电子控制设备的电磁兼容性研究也更全面、深入，并逐渐采用科学的和定性的方法。

电子控制设备乃致大型成套控制设备的电磁兼容性设计已基本上摆脱了初期依靠经验和定性方法的局面而进入了依靠科学和定量方法的阶段，并在实践上

取得了良好的效果。但与电子通信设备相比，电子控制设备的电磁兼容性技术还不够成熟，有些干扰还不能定量确定，有关标准还不完善。国际电工委员会（IEC）的有关国际组织及各国标准化组织正在从事这方面标准的制订。中国于 1986 年成立了“全国无线电干扰标准化技术委员会”负责这方面的工作。

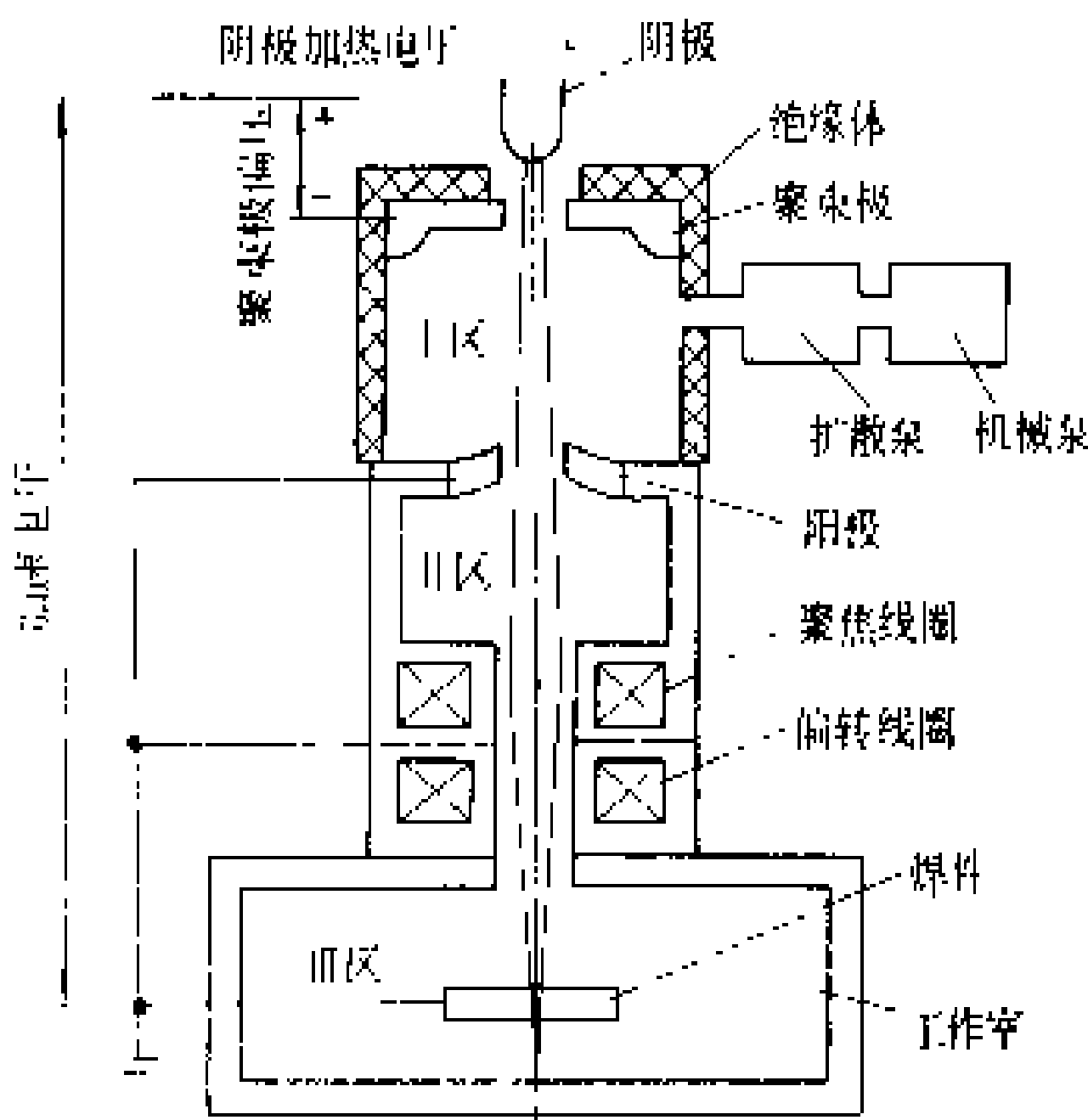
参考书目

张松春等编，电子控制设备的抗干扰技术及其应用，北京：机械工业出版社，1989

（张松春）

dianzi shuhan

电子束焊（electron beam welding）利用经加速和聚焦的电子束轰击焊件所产生的热能进行焊接的方法（见电子束加热，电焊）。如图所示，从阴极发射的电子，受阴极与阳极间高压电场的加速，通过带孔的阳极，再经聚焦线圈会聚成截面积小（直径为 0.2~1 mm）、功率密度高（ $\geq 1.5 \times 10^5 \text{ W/cm}^2$ ）的电子束。当电子撞击焊件时，其动能大部分转化成热能，使焊件金属熔化成熔池。随着电子束的移动，熔池冷凝成焊缝。电子束的移动可由移动电子枪（电极和聚焦线圈等的组合件）或焊件来实现；在小范围内可由偏转线圈所产生的磁场来实现。加速电压在 30~200 kV 范围内。为保护电极不受氧化，电极区（图中的 I 区）必须保持压力不大于 $1 \times 10^{-2} \text{ Pa}$ 的高真空。工作室的压力常高于电子枪室的压力，两者间有减少漏气的设施。工作室一般另配真空泵抽气。



电子束焊示意图

特点和用途 真空环境中的电子束焊与其他熔焊方法比，其优点是：①高能电子束能获得窄而深的穿透型熔化焊缝，焊缝深宽比可大到 10~30；②对焊件的输入能量小，因而焊件的热影响小，变形少；③焊接参数（功率、束径、工作距离等）可各自在很宽的范围内



调节,还可进行脉冲调制、扫描等,焊接精度高、适应性强、工艺再现性好;④焊缝受电极材料和空气的污染极小(如在 1×10^{-2} Pa 真空度下,焊缝污染程度只约 $0.1\text{ }\mu\text{m}$);⑤可用来焊接除黄铜、铸铁等少数金属外的所有同类金属,包括活泼金属、难溶金属等和它们的合金,也可用来焊接某些异种金属(如不锈钢与铜合金、耐热合金与钼或钨等);⑥大批量生产条件下,焊接成本只有气体保护电弧焊的几分之一。电子束焊的缺点是:①设备投资大;②只能焊接特殊型式的接头;③因电子束束径小,焊件接缝间隙必须很小,电子束与接缝容易错位,为此,焊接接头必须经准确的非破坏性检验方法检验;④焊前焊件表面须经仔细清理;⑤真空中焊接时,焊件尺寸受真空工作室尺寸的限制;⑥夹具应当用非磁性材料制造,或先经退磁,以防电子束偏移接缝。

分类 电子束焊接焊件所处的工作室内的真空度分为高真空焊、低真空焊、局部真空焊和非真空焊四类。各类电子束焊的特点和差别见表。

各类电子束焊的特点和差别

类别	高真空焊	低真空焊	局部真空焊	非真空焊
工作室压力 (Pa)	$10^{-2}\sim 10^{-1}$	$1\sim 10$	约 1	约 10^5
加速电压 (kV)	30~150	60~150		100~200
焊件尺寸	小于工作室尺寸		大于工作室尺寸	不受限制
工作距离 (mm)	50~800	25~500		4~25
电子束穿透深度 (mm) (以 75 kW 电子枪, 不锈钢焊件为例)	>100	约 100		约 20

设备 有高真空、低真空、局部真空和非真空电子束焊机,各类焊机主要由电源、机身、电子枪、光学观察系统(望远镜或有线电视)、真空系统、控制系统以及焊件操作系统等部分组成。电源分低压(30~60 kV)和高压(100~200 kV)两种。低压型电子枪可以装在真空室内并沿几个轴运动,用普通钢板就可满意地屏蔽 X 射线。高压型电子束能量密度高,需用铅板严密地屏蔽 X 射线。电子束焊机可以是自动的或半自动的。为焊接工艺需要,可在一个真空室内装几支电子枪,同时对焊件的不同部位进行焊接。

历史和发展 电子束焊的设想是德国人提出的,于 1955 年在法国首先得到实际应用。最初限于焊接那些受微量污染后,就会严重降低其机械和化学性能的金属,主要是高熔点和高活性的金属,如钨、铜、钼、铌、铍和铅等。因此,最初主要用于核能工业。其后,由于其热影响区小、变形少、易控制等特点,这种焊接方法扩大应用到了航天、航空、机械、化工、电子等许

多工业部门。焊件材料也由高熔点金属扩大到普通金属结构材料。预计,随着对这种焊接方法认识上的提高,其应用范围还将进一步扩大。

(杨菊生)

dianzishu jiare

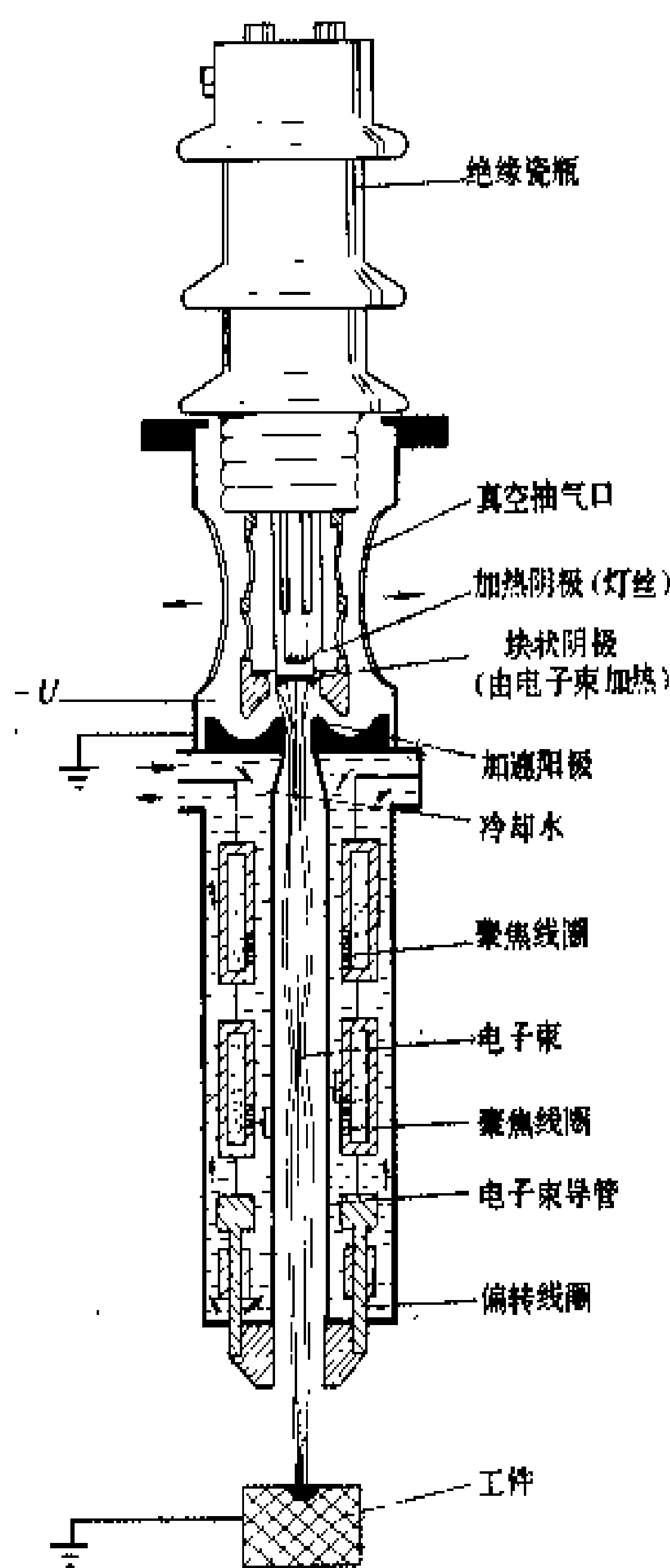
电子束加热 (electron beam heating) 利用电子束轰击物料产生的热能对物料进行电加热的方法。电子束加热通常在真空中进行。如图所示,阴极接负的高电位,阳极接地,聚束极通常与阴极同电位或更低,阴、阳极间形成加速电场。被灯丝加热到一定温度的阴极所发射的电子在加速电场的作用下形成电子束并被加速到很高的速度(例如,电压 U 为 25 kV 时,电子速度达 $9.4\times 10^4\text{ km/s}$)。电子束通过阳极孔后进入等电位空间,由于电子之间相互排斥,电子束会逐渐发散。电磁透镜用来对电子进行聚焦,使之保持一定形状。电磁偏转器和扫描器用来按加热要求改变电子束的方向。电子束轰击被加热物料时,其绝大部分动能转变成热能使物料加热,有一小部分转变成 X 射线。

特点 电子束加热的特点是:①加热功率可以集中在很小的面积上;②功率密度可高达 $10^8\sim 10^9\text{ W/cm}^2$;③电子束的参数和位置可精确调节;④在真空中进行,物料受空气污染少,真空冶金效果好;⑤设备较复杂,一次性投资较大;⑥会产生 X 射线,须加防护。

设备 电子束加热设备通常由电子枪、工作室、真空系统、高压电源、测量控制系统和物料输送系统等组成。先进的电子束加热设备普遍采用计算机程序控制。

电子枪 用来产生电子束的器件。电子枪有轴向、环形、横向等几种,以轴向枪用得最多。轴向枪又分为间热式和直热式两种。间热式枪的阴极用钨或钼制成,由灯丝发射的电子达到发射电子的温度(钨阴极为 $2750\sim 2850\text{ K}$,钼阴极为 $2400\sim 2550\text{ K}$)。间热式枪的优点是发射面积大、束电流大、阴极使用寿命长(可到 $100\sim 150\text{ h}$),适合于大功率(可到数百千瓦至上千千瓦)使用;缺点是结构较复杂,灯丝与阴极间另要一套直流电源。直热式枪的阴极通常是绕成螺旋状的钨丝,通电加热后自身发射电子束。优点是结构简单;缺点是发射稳定性差,功率小(一般不超过 60 kW)。环形枪的阴极呈环状,靠近被加热物料,工作时易被沾污、寿命短(有的只有几小时)。横向枪的阴极位于被加热物料的侧面,由横向磁场将电子束偏转到被加热物料上,

阴极寿命可到约 50 h。这两种枪只在特殊情况下使用。



电子束加热原理图

工作室 通常是用不锈钢制成的真空容器，外周必要时用水套或水管冷却，内部有工作台或坩埚、物料支承、输送机构等；外壳壁上有连接电子枪、真空机组、测温装置等的连接管。

真空系统 由机械泵、增压泵和扩散泵等组成。工作室真空度一般为 $10^{-1} \sim 10^{-3}$ Pa；轴向枪通常另配一套真空机组，枪室真空度在 10^{-3} Pa 以上。

高压电源 电子枪在直流高压下工作，如熔炼炉的工作电压为 10~35 kV，焊接设备的为 30~200 kV。电源用三相桥式整流器。整流元件用闸流管或高压硅堆。硅堆有体积小、效率高、起动快等优点，随着电路保护技术的进步，其应用已越来越多。电压调节通常用饱和电抗器或磁性调压器。高压电源配有过电压、过电流和各种连锁保护装置，以确保人身和设备的安全。

应用 电子束加热用于金属的熔炼、焊接、表面处理以及金属和非金属的刻蚀、钻孔、切割、电子束蒸发镀膜等。

电子束熔炼 电子束熔炼的概念是 M. V. 皮喇尼 (M. Von Pirani) 于 1905 年提出，但在 50 年代才在熔炼难熔金属钨、钼、钽等的领域中得到工业应用，

后来又用于熔炼活泼金属钛、锆、铌等。其后虽有真空电弧炉的竞争，但电子束熔炼至今仍是这些金属的重要熔炼手段。60 年代以后电子束熔炼又扩展到熔炼高级合金钢、高温合金等领域。

电子束熔炼炉通常用间接式轴向电子枪，有时一台设备配几支枪，呈环状布置，以便从几个方向轰击炉料。熔炼分滴熔和池熔两种型式。滴熔时，原料制成棒状，从水平或垂直方向进到电子束通路中。料棒端头受电子束轰击后，熔化成熔滴，滴入坩埚内的熔池中。池熔时，原料呈颗粒状或粉状直接加到熔池中，电子束轰击熔池表面使之熔化。前者冶金效果（除气、去杂）好，后者便于调整合金成分，因此两者常配合使用。坩埚又叫结晶器，用钢制成，外周用水或其他液体冷却，随着熔炼作业的进展，熔池底部金属逐渐冷凝，最后形成锭子。

电子束熔炼是在较高真空度 ($10^{-4} \sim 10^{-2}$ Pa) 下进行的，与其他真空熔炼法（真空感应熔炼，真空电弧熔炼）比，能制取质量更好的锭子，但熔炼成本较高。

20 世纪 90 年代世界最大的电子束熔炼炉是 1989 年在日本投产的 2500 kW 炉，用四支轴向枪，主要用于生产航天工业用材料，能生产出直径 800 mm 或截面 250 mm × 1250 mm、重 13 t 的锭子。

电子束焊接 见电子束焊。

电子束表面热处理 以功率密度为 $10^3 \sim 10^4$ W/cm² 的电子束在工件表面进行扫描，使受电子束轰击的点的温度迅速上升（上升速率为 $10^3 \sim 10^5$ °C/s）达到相变或熔化温度，在电子束停止轰击后，靠材料自身热传导使该点快速冷却的表面处理方法。其优点是表面质量好、生产率高、工件不易变形、可用于局部处理、能耗小等。电子束表面热处理主要有相变处理、硬化凝固处理和表面合金化三种类型。

相变处理时，电子束使金属材料表面很快上升到奥氏体相变温度（低于熔化温度），持续一段时间后电子束停止轰击，热量很快向冷的基体金属扩散，使加热表面自行淬火，其组织转变为马氏体，表面硬度显著提高。与其他种表面淬火方法比，一个重要特征是可获得超细晶粒组织。

硬化凝固处理时，电子束在零件表面扫描使其表层快速熔化，然后再靠自身热传导快速凝固，从而达到使表层晶粒细化、硬度和韧性综合性能提高、合金元素重新分配和表面粗糙度改善等目的。

表面合金化时，把具有特殊性能的合金粉末涂敷在工件表面，用电子束扫描使表面形成一层很薄的新的合金，从而提高表面的耐磨、耐蚀、耐热性能。这种方法的突出优点是能用较便宜的材料获得较好性能的零件。



电子束刻蚀、钻孔和切割 利用高功率密度 (达 10^9 W/cm^2) 的电子束轰击工件表面,使之迅速气化,可实现对工件的刻蚀、钻孔和切割等。其特点是:①几乎适用于所有固态材料,如各种金属(包括熔点很高的钨、硬度很高的硬质合金)、钻石、宝石、玻璃、陶瓷、半导体材料(硅、锗、砷化镓、磷化镓)等。②加工速度极快。如用单个脉冲钻孔(一个脉冲钻一个孔),加工时间为 $10^{-5} \times 10^{-3} \text{ s}$ (束径 $20 \sim 80 \mu\text{m}$, 工件厚度 $0 \sim 5 \text{ mm}$);用多脉冲钻孔,加工时间为 $0.1 \sim 50 \text{ s}$ (束径 $20 \sim 2000 \mu\text{m}$, 工件厚 $0 \sim 15 \text{ mm}$);用连续扫描脉冲,1 s 内可钻 1 万个孔;对玻璃表面的钼层进行刻蚀,速度可达 5 m/s ;切割纸或塑料薄膜,速度可达 50 m/s 。③加工尺寸极小,如可钻直径仅 $2 \mu\text{m}$ 的孔(一般为 $30 \sim 1000 \mu\text{m}$),切割 0.2 mm 厚硅片,切缝仅 $40 \mu\text{m}$ 。④加工精度高,一般可控制在 $\pm 5\%$ 。⑤通过计算机控制可钻异形孔,进行仿形切割等。

电子束蒸发镀膜 用电子束使镀层材料快速蒸发而附着到固定的或连续行进的物料表面上。前者如某些电子元件的表面镀膜,后者如带钢的表面镀膜。

参考书目

R. Bakish. Introduction to Electron Beam Technology. John Wiley & sons, 1962

(朱国强 蒋聪吉)

dianzi xianweijing

电子显微镜 (electrical microscope) 以电子束代替光束成像,观察细微结构的电子仪器。其产生的影像可显示在荧光屏上或拍摄在胶片上。由于电子显微镜的分辨率很高(已达 $1 \sim 2 \text{ \AA}$, 是光学显微镜的 1000 倍),因此人们可借助它深入了解生物体或各类物质的精细结构。自 1932 年第一台电子显微镜问世以来,已被广泛地应用于物理、化学、生物学、医药卫生、矿物冶金、地质和农业等各个学科。

电子显微镜的照明源不是可见光,而是电子束。显微镜的分辨率与照明源的波长成反比。由于在高电压下,可产生波长很短的电子射线,如在 100 kV 时,波长为 0.037 \AA ,而可见光的最短波长为 4000 \AA 。因此,电子显微镜的放大能力较光学显微镜大为提高。高压产生的电子束经过聚光镜系统的电子透镜聚焦于样品上,再经过成像系统的电子透镜形成图像。电子透镜不同于光学透镜,而是根据电磁场理论设计的利用电磁场改变电子束运动方向,从而起到类似光学透镜的作用,使之成像于荧光屏或胶片上以进行观察。

一台电子显微镜除了包括上述的照明源电子枪、聚光系统、成像系统和观察记录系统外,还包括为使电子束不受气体分子干扰而装备的真空系统,以及调节

上述各部分工作的电子线路系统。

电子显微镜从电子枪电压及工作方式上可大致分为以下几种:①常规电子显微镜,加速电压约为 $60 \sim 100 \text{ kV}$,主要用于生物研究;②超高压电子显微镜,加速电压 200 kV 至几兆千伏,可获得较高的分辨率和对样品的更大的穿透能力,在材料科学和生物科学中都有较高的应用价值;③扫描电子显微镜,一般指反射式扫描电子显微镜,其主要特点是图像立体感强,可用于观察生物体细微的结构,配备多种功能的附件可用于超轻元素分析;④扫描式透射电子显微镜,可用于胶原样品的观察,配备其他设备,可观察单个原子,可对所有超轻元素进行分析。

电子显微镜技术及应用在飞速发展,扫描透射电子显微镜与透射电子显微镜技术的结合,计算机的应用,再加上新的样品制作和图像分析技术,使电子显微镜逐步地发展成为完善的分析仪器。

(周 奕)

dianzi youxiqi

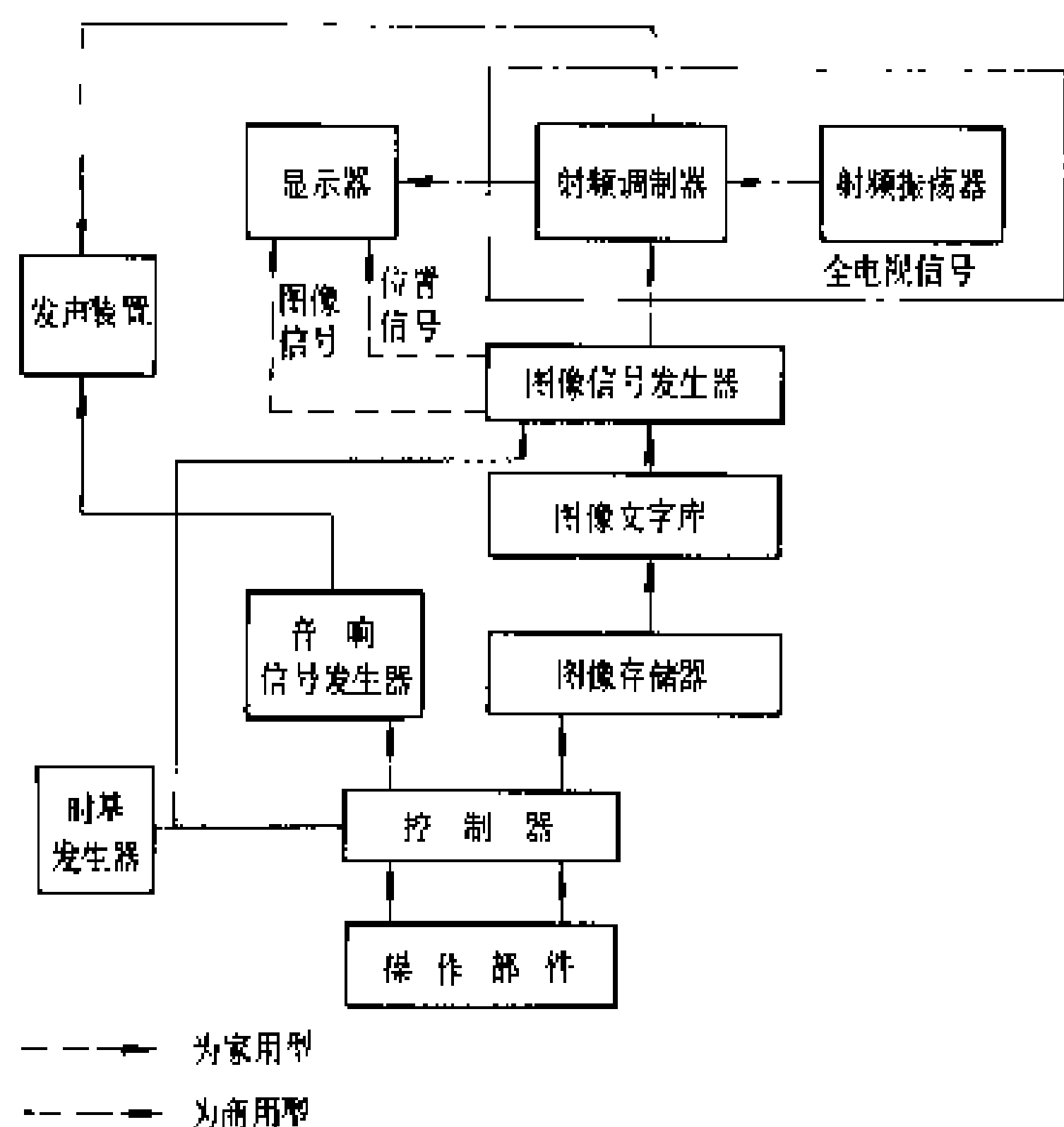
电子游戏机 (electronic game) 利用电子技术制成的,通过操纵部件与电子显示器件进行游戏的娱乐器具。电子游戏机是 20 世纪 70 年代发展起来的,是微型计算机发展的产物,特别是当微型计算机技术与彩色电视技术相结合后,更得到飞跃发展。其多变性、趣味性远远超过一般娱乐器具,因而广泛用于娱乐、教育、训练等领域。它具有竞赛与对抗性,要求人们按既定的游戏规则,充分发挥个人的聪明才智和技术技巧,以求战胜对手。

简单的电子游戏机以荧光管、发光二极管(LED)或液晶显示器(LCD)为显示器件,结构简单,功耗小,多为小型手持式,可随身携带,一般仅供 1 人娱乐。复杂的电子游戏机以电视显像管为显示器件,结构复杂,体积较大,功耗及价格均较高,可供 1~2 人或更多的人娱乐,亦称电视游戏机。

组成与原理 电子游戏机包括控制键、游戏电路和显示器三大部分,一般由操作部件、时基发生器、控制器、图像存储器、图像文字库、图像信号发生器、显示器件和音响信号发声器、发声装置等部分组成,如图所示。

时基发生器用于提供游戏控制器、图像信号发生器、音响信号发生器用的时基信号。控制器是游戏机的核心部分,控制整个游戏的进程。图像存储器、图像文字库、图像信号发生器由集成电路或微处理机组成,用于产生由显示器显示的图像信号。游戏人通过控制操纵部件与调出的存储程序和数据进行游戏,控制器将规定程序与游戏人的操作是否符合要求进行比较,作

为进一步游戏的判断依据,并由音响信号发生器产生相应的信号,推动发声装置发声。



电子游戏机的组成

以电视显像管作显示器件的游戏机(电视游戏机)需要使用射频调制器和射频振荡器,以便将全电视信号和伴音信号送入电视接收机进行显示;或者由图像信号发生器送出图像信号和位置信号(采用电视制式是行、场同步信号,采用随机扫描制式是 x 、 y 坐标电压信号),供显像管接收并显示。

分类 电子游戏机可分为四种。一种是固定式的,用户购置后只能进行一种或至多几种内容固定的游戏,商用或简单家用电子游戏机采用这种结构;第二种是插盒式的,可通过更换不同的插盒改变游戏内容,高档家用游戏机多采用这种方式;第三种直接利用微型计算机,可由用户自行编制游戏程序或利用游戏软盘、磁带等进行娱乐,其游戏内容和种类几乎不受限制,具有更大的通用性和灵活性;第四种是投币式的,在公众场合使用,每次游戏要受投币机构控制。

使用要求: ①电压为 220 V 交流电,应有地线。②环境温度应保持在 $-10\sim 40^{\circ}\text{C}$ 之间,相对湿度应小于 85%。③防止电磁干扰,避免振动与冲击。④转动控制旋钮或扳动操纵杆时,不可用力过猛,以免损坏电位器和操纵盒。⑤安装与拆卸集成电路片必须在断电后进行,否则会造成损坏。(参见彩图插页第 31 页 97 图)

(潘宗福)

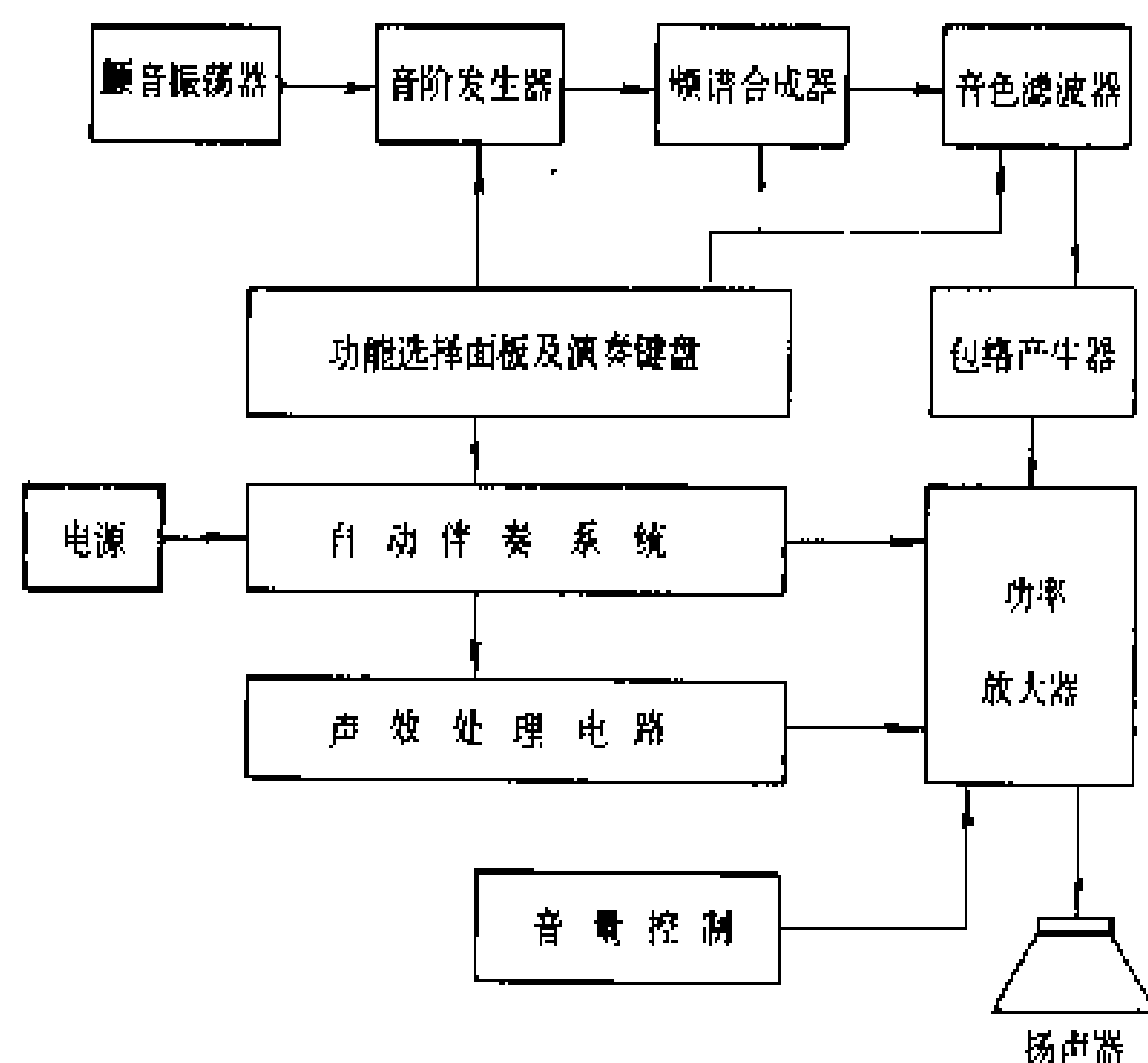
dianzi yueqi

电子乐器 (electronic instruments) 利用电子技术通过演奏手段产生音乐效果的演奏器具。它一改传统声学乐器通过物体振动而发出声音的方法,利用电子技术对乐音的音高、音色、响度、瞬态特

征进行模拟。电子乐器除能模仿单簧管、长笛、提琴、钢琴、唢呐、板胡等中外传统乐器的发音外,还能表现传统乐器无法发出的乐音,甚至自然界从未有过的声音。它可以采用吹奏、击奏、弦控或键盘控制方式。

电子乐器与传统乐器最显著的区别在于发音部分。后者无论是气鸣乐器、体鸣乐器、膜鸣乐器或弦鸣乐器,都是利用他激式机械振动体(弦、簧、管、膜等)发音;而前者则利用电子元器件组成的自激式电子振荡器发音。因此,电子乐器在音准、音纯、音域、音色变化、动态范围、瞬态特性等方面远胜于传统乐器,而且还具有重量轻、容易学、调整和维修方便等优点。

组成 典型电子乐器的构成框图如图所示。并非每一种电子乐器都必须具备图中的所有部分,或只限于由这几部分组成。



电子乐器的构成框图

音阶发生器是一个频率可变的音频电子振荡器,其频率由弦或键盘控制。它所产生的振荡信号是单音或某几个固定的谐波音,发音单调乏味,还需附加音色处理电路、频谱合成器、音形产生器及颤音振荡器等电路来丰富演奏的音色。

颤音振荡器是一个超低频振荡器,由它来调制音阶发生器,使频率作往复变化,产生类似提琴揉弦的效果;音形(包络)产生器用于控制振荡的建立和衰减过程;频谱合成器用于调配信号各谐波的分量,与音色滤波器配合,可以控制、合成信号的包络;自动伴奏系统一般包括自动打击乐节奏伴奏、自动和声伴奏、自动分解和弦伴奏电路,用以产生有拍节的乐句,实现有调性 or 无调性的伴奏;声效处理电路通过控制压控滤波器、压控放大器、残响电路等对信号进行调制,产生类似“啊”、“哇”、“吻吻”、“喵喵”、“嗖嗖”音等以及回荡音、残响音的效果;功率放大器的作用是把电子振荡器形成的声源信号放大到适用的幅度,其大小由音量控制器控制,最后送入扬声系统放声。



原理 电子乐器采用现代电子技术，从乐音具有代表性的音高、音色、响度的瞬态特征等方面对乐音进行合成。根据所采用的技术不同，乐音的合成系统也不相同，主要有模拟系统、混合系统和数字系统三种合成系统。①模拟系统：早期的电子乐器采用模拟合成系统，其乐音信号的产生、处理、控制部分都是以模拟信号的形式出现。②混合系统：中期的电子乐器采用混合系统，乐音在产生、处理阶段以模拟信号形式出现，但乐音特征的模拟则由微处理器以数字信号的方式加以控制。③数字系统：随着大规模集成电路技术的发展，近期的电子乐器采用数字系统，其乐音信号的产生、处理和控制都是利用数字信号。由此使得电子乐器体积小、功能多样化、音质高保真化。

分类 电子乐器有以下几种主要的分类方法。
按操作方法可分为电子打击乐器、电子吹奏乐器、电子弹拨乐器、电子按键乐器、电子音乐合成器等；按电路所用器件可分为分立器件电子乐器、小规模集成电路电子乐器、中规模集成电路电子乐器、大规模集成电路电子乐器；按能否演奏和弦分为单音电子乐器、复音电子乐器；按结构造型分为手持式电子乐器、台式电子乐器、落地式电子乐器；按乐音信号的合成方式分为模拟式电子乐器、混合式电子乐器和数字式电子乐器。
(潘宗福)

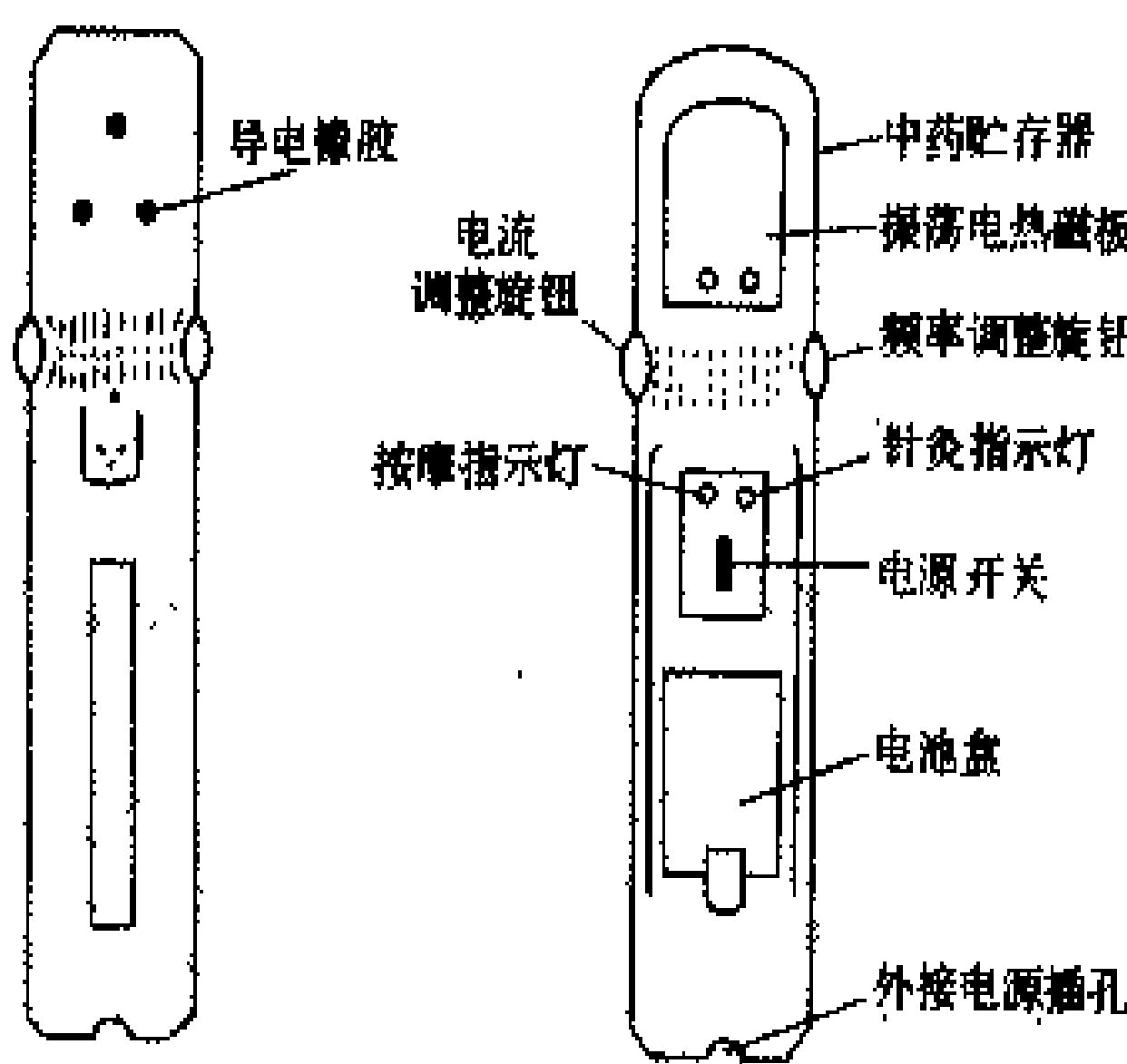
dianzi zhenjiu anmoqi

电子针灸按摩器 (electronic thermomagnetic wave acupuncture massager) 根据中国传统医学中的针灸诊治原理，应用电子技术制成的一种用于治疗 and 保健的医用电子器具。其基本作用是输出一定的电脉冲，通过电极刺激人体穴位，达到镇痛、治疗和保健的目的。它具有：①舒通血液，使血管壁弹性增加；②增进关节与软组织间的体液分泌吸收和新陈代谢；③增加病灶周围白血球的噬菌能力；④增强神经兴奋，增加内啡止痛介质等优点。

近年来，这一产品在中国发展很快，功能不断扩展，比较有代表性的是一种集热疗、磁疗、电疗、药疗于一体，将温热、磁场、脉冲电、振动等诸种物理作用相结合的电子热磁波针灸按摩器（见图）。它能代替人工针灸、推拿、按摩和热敷的各种作用，通过对肌体经穴的电流刺激、热能内透、磁波导入、中药渗透及机械振动按摩等，使人体经络疏通、营养调和、血液循环改善、皮肤细胞新陈代谢活跃，以增强肌体的自然抗病能力。具体可适用下列一些范围：

- (1) 急慢性关节炎、风湿酸痛、腰酸背痛、筋腱扭伤；
- (2) 失眠、眩晕、颈痛、牙痛、近视、神经衰弱；

- (3) 四肢麻痹、肩周炎、颈椎综合症、椎间盘突出；



电子热磁波针灸按摩器示意图

- (4) 胃脘痛、消化不良、痔疮、高血压；
- (5) 支气管炎、鼻炎、坐骨神经痛、运动损伤；
- (6) 遗精、早泄、阳痿、性功能衰弱；
- (7) 痛经、月经不调、更年期综合症。

电子热磁波针灸按摩器主要由机芯、塑料外壳和三个外部端子组成。作按摩使用时，可采用配套的整流变压器直接使用 220 V 市电；用作针灸电疗使用时，使用 9 V 积层电池作电源。
(孙彦昕)

dianzuzhan

电阻焊 (resistance welding) 在施加压力下，电流通过焊接接头的接触面及其邻近区域产生的电阻热进行焊接的方法（见电焊）。如图所示，各焊件接头由电源供电，同时受到外加压力；电流流过接头时，由于接触面上的接触电阻和邻近区域的电阻而产生的电阻热使接头加热到熔塑状态；在压力作用下，金属受挤压而连接在一起。

特点和用途 与电弧焊相比，电阻焊具有热影响区小、变形小、焊接速度快、焊接表面质量好、劳动条件好、容易实现机械化自动化等优点，可用于碳钢、低合金钢、不锈钢和镍、铝、镁、钛等有色金属及其合金的焊接。但电阻焊受焊件形状和接头形式的较严格限制，适用面比电弧焊窄。

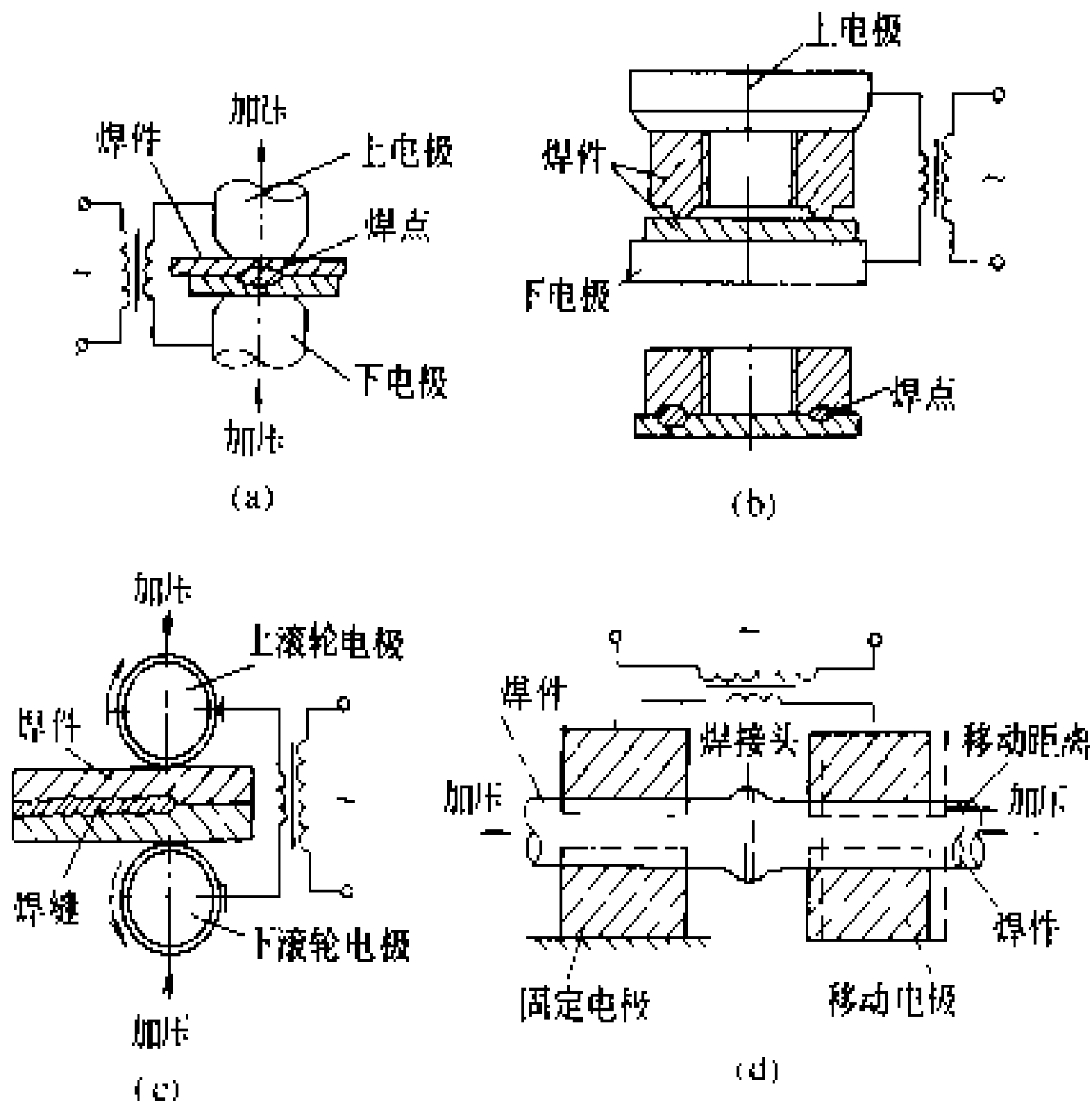
电阻焊主要用于汽车、船舶、铁道、自行车、锅炉、量具刃具和电子等工业部门。

分类 电阻焊接方法可分为点焊、凸焊、缝焊和对焊四种。高频电阻焊发展较晚（见高频焊）。

点焊 焊件装配成搭接接头并压紧在两个端头呈球形或锥形的圆柱电极之间，如图（a）所示。焊件也可压紧在一个电极与垫板之间。按电极相对于焊件的位置，点焊可分为单面点焊和双面点焊；按一次成形的



点焊数，可分单点、双点和多点点焊。点焊适用于薄板的焊接，对低碳钢，单层板厚在1~8 mm 范围内。



电阻焊示意图

(a) 点焊；(b) 凸焊；(c) 缝焊；(d) 对焊

凸焊 是点焊的一种特殊形式。如图(b)所示，焊接前要先在焊件的一个表面上加工出一个凸起点。焊件凸起点处的电流密度较高，能较快变形熔化，形成焊点。凸焊主要用于将较厚的工件焊接到较薄的工件上去，或两者都是较厚的工件，以及用于有电镀层的金属板的焊接。

缝焊 焊件装配成搭接接头，置于两个滚轮电极之间，如图(c)所示。焊件也可压紧在一个滚轮电极与导电垫板之间。滚轮对接头施加压力并供电，从而获得由许多彼此相互重叠的焊点所形成的连续焊缝。按滚轮转动和供电方式的不同，缝焊分连续缝焊(滚轮连续转动，电流连续接通)、断续缝焊(滚轮连续转动，电流间歇接通)和步进缝焊(滚轮转动和通电都是间歇的，电流在滚轮不动时接通)三种。

缝焊主要用于焊缝较规则且要求密封焊的薄壁结构。用于焊接碳钢，单层板厚一般在2 mm 以下。

对焊 如图(d)所示，两个截面形状相同或接近的工件对头组装成接头。对焊分电阻对焊和闪光对焊两种。

(1)电阻对焊时焊件接头的两端面紧密接触，利用电阻热使接头加热到熔塑状态，然后迅速施加压力以完成焊接。电阻对焊的设备较简单，常用于焊接直径小于20 mm 的焊件，包括有色金属细丝。

(2)闪光对焊时先接通电源，让焊件接头的两个端面逐渐移近达到局部接触，利用电阻热和电弧热加热接触点(这时将产生由弧光放电和飞溅的金属所形成的闪光)，使端面金属局部熔化，当端部在一定深

度范围内达到预定温度时，迅速施加压力以完成焊接。

闪光对焊有接头加热区窄，端面加热均匀，接头质量易于保证等优点，可用于板材、棒材和管材的对头焊接。板材和杆件的厚度一般为0.2~2.5 mm，棒材直径为1~50 mm。采用专用焊机也可焊接尺寸更小或更大的焊件。

设备 电阻焊所用设备叫电阻焊机。相应的有点焊机、凸焊机、缝焊机和电阻对焊机等。各类电阻焊机除机架外主要由电源、加压机构和控制系统三大部分组成。

电源 电阻焊机所用电源有交流、直流和脉冲电流三类。交流频率分为低频(3~10 Hz)、工频(50/60 Hz)、中频(150~8000 Hz)、高频(10~500 kHz)四种。脉冲电流按产生方式有电容储能和直流冲击波两种。各种电源的额定容量和用途如表所示。各种电源都由380 V 低压配电网供电，次级空载电压一般不超过20 V。这类电源的负载是低值电阻，电流大而持续时间短。如点焊两块厚1.6 mm 的低碳钢薄板时，电流约为12000 A，而时间只约0.25 s；焊3 mm 板时约为19000 A，0.5s。因此，电源的额定负载持续率低(用于点焊和对焊为8%~20%，缝焊可到50%以上)。

电阻焊所用电源的额定容量和用途

电源类别		额定容量* (kV·A)	用 途
交 流	低 频		大厚度、大截面铝及铝合金点焊
	工 频	5~400	碳钢、低合金钢、不锈钢、铜等的各种电阻焊
	中频和高频	1~400	薄壁管，如罐头、自行车钢管等的滚对焊
直 流 (次级整流)		5~200	碳钢、低合金钢、铝及其合金厚板的多层点焊和缝焊
脉冲电流	电 容 储 能	5~100	不等厚度、不等截面、异种金属的焊接，螺栓焊接
	直 流 冲击流	300~1000	焊接质量要求高的大厚度铝及铝合金材料的焊接

* 所列数值对应通用电阻焊机，专用焊机的可能超出。

加压机构 主要有弹簧杠杆式、电动凸轮式、气压式、液压式和气—液压力式几种。前两者用于中、小型焊机，后者用于大、中型焊机。压紧焊件的电极和滚轮由高强度铜合金(如铬铝镁铜、铬铝铜等)制成，使用中一般用水冷却。

控制系统 用来控制焊接过程中的焊接电流、压力和每一焊接周期中各阶段的压力波动，并有监控焊接质量等附加功能。电流控制包括电流的通、断和电流大小的调节。电流通断元件主要有机械开关、电磁式接触器和晶闸管。前两者常用于通电时间较长或控



制精度要求较低的脚踏式或电动式凸轮小型焊机中。晶闸管能在焊接电流过零时断开电流，可避免电流对焊接的影响，用于焊接质量要求较高的场合。电流大小的调节对简单的焊机用切换变压器一次侧抽头的办法，对采用晶闸管的电路则改变晶闸管的导通角。时间控制用时间继电器和相应的控制电路来实现。时间继电器主要有阻容式、电动机式和计数式三种。阻容式应用最广，电动机式只在焊接过程时间较长的对焊机中采用，计数式多用于控制精度要求较高的场合。当采用微处理器控制时，其中的时钟发生器就起到定时作用。

历史和发展 电阻焊中的点焊和缝焊是 1887 年美国的 E. 汤姆逊 (Elihu Thomson) 发明的。20 世纪 20 年代，闪光对焊开始用于焊接棒材和链条，从此电阻焊进入实用阶段。50 年代以后，半导体器件、集成电路和计算机技术的发展加快了电阻焊的技术进步。以晶闸管和大功率晶体管为整流元件的中高频交流电源和次级整流直流电源，以及采用晶体管、集成电路和微处理器的控制系统相继出现，扩大了电阻焊的应用范围，更好地保证了焊接质量，提高了焊接生产率。为适应各工业部门的特殊需要，专用电阻焊机，包括焊接机械手、机器人将日益得到推广应用。

参考书目
毕惠琴. 焊接方法及设备. 第二分册, 电阻焊. 北京: 机械工业出版社, 1981
B. Д. 奥尔洛夫. 焊接工艺及设备. 陈幼秋译. 北京: 国防工业出版社, 1980

(杨恩乾)

dianzu jia re

电阻加热 (resistance heating) 利用电流通过电阻体的热效应，对物料进行电加热的方法。

电流流经电阻体所产生电阻热的值可按公式 $Q = I^2 R t$ 计算。式中 Q 为电阻体中所产生的热量，J； I 为通过电阻体的电流（当用交流电时，取其有效值），A； R 为电阻体的电阻， Ω ； t 为电流通过的时间，s。

电阻加热一般具有以下特点：①物料的加热温度可在高于室温直到约 3000℃ 的宽广范围内按加热工艺需要选定，且可得到精确的控制；②物料可选择在按工艺需要的环境中，如在真空、控制气氛、液态介质等进行加热和处理（见真空电阻炉、控制气氛电阻炉、电热浴炉等），真空度或一些气氛中的气体成分可自动控制；③加热均匀；④热效率高；⑤对环境污染少。

电阻加热分间接电阻加热和直接电阻加热两大类。

间接电阻加热 电源接在电热元件或其他导电介质上，使电热元件或导电介质先得到加热，然后通过热的传导、对流和辐射使被加热物料间接地得到加热。这是各种电加热方法中使用最广的一种，主要用于各种间接电阻炉（见电阻炉）和家用电热器具（见家用电器）中。

直接电阻加热 电流直接通过被加热物料本身的电阻加热。实际应用有电阻焊，截面相同的钢棒、钢管或铆钉坯料等材料的直接通电加热，炭素电极的石墨化，制取碳化硅，熔化玻璃等（见直接电阻加热设备）。这种加热方式受被加热物体的性质、形状、尺寸等的限制，使用面窄。

(许坤田 蒋聪吉)

dianzulu

电阻炉 (resistance furnace) 利用电阻加热的电炉，按电阻加热方法的不同，电阻炉可分为间接电阻炉和直接电阻炉两大类。

间接电阻炉 电源接在电热元件或其他导电介质（如熔融金属盐）上，使电热元件或导电介质产生电阻热，而后通过热的传导、对流、辐射使炉料间接得到加热的电阻炉。

特点和用途 间接电阻炉炉温和炉内加热过程可精确控制，炉内气体成分可根据加热要求选择和控制，对被加热工件在材质、形状、尺寸等方面限制小，容易实现机械化、自动化，电效率高（接近 100%），因此广泛用于机械零件热处理，钢材、铝材、铸件、焊接件退火，粉末冶金制品烧结，优质陶瓷制品烧成和科学实验工作中，是电热设备应用中台数最多的一种。但间接电阻炉的功率密度一般较小，用于金属熔炼的不多。

分类 间接电阻炉按炉内介质不同可分普通电阻炉（即自然气氛电阻炉）、控制气氛电阻炉、真空电阻炉、电热浴炉和流态粒子电炉五类。各类的特点和用途见表 1。

间接电阻炉按作业方式可分间歇式和连续式两类。间歇式电阻炉在加热过程中，炉料在炉内位置固定不变，适用于被处理炉料品种多、批量小的场合。连续式电阻炉在加热过程中，炉料在炉内连续地或有节奏地沿炉长移动，适用于品种少、批量大的场合。这两类电阻炉为了满足不同形状、尺寸的炉料的加热需要，按结构型式又分成许多小类，见表 2。

除此之外，间接电阻炉还按用途分类并命名，如淬火炉、退火炉、回火炉、渗碳炉、氮化炉、烧结炉等等。

设备组成 间接电阻炉主要由炉体和电源及控制

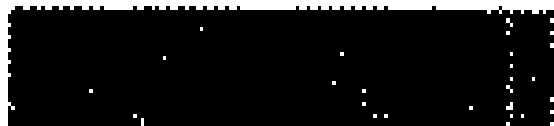


表 1 各类间接电阻炉的特点和用途

类 别	炉 内 介 质	特 点	用 途
普通电阻炉(自然气氛电阻炉)	加热过程中炉内自然形成的气体主要是空气	结构简单,使用方便;但加热过程中炉料氧化脱碳较严重	一般加热、热处理、干燥、烧结,如金属毛坯和铸锭等的加热和热处理
控制气氛电阻炉	由人工提供并控制的气体	可避免或减少炉料的氧化脱碳,可对机械零件进行化学热处理;某些炉气易爆或对人体有害	机械零件的化学热处理和少或无氧化加热;钨、钼等金属材料的热处理等
真空电阻炉	压力不到 10 ⁵ Pa 的空气或其他气体	对炉料有除气和净化表面作用,可更有效地进行少或无氧化加热,也可进行化学热处理,对环境污染少;但连续生产较困难	活泼金属、难熔金属和某些电工合金等的光亮退火、真空除气,不锈钢和铝材的钎焊,机械零件的淬火、渗碳、烧结等
电热浴炉	液态金属、盐或碱、油等	加热速度快;加热均匀;炉内不用耐热钢材料,炉温可到 1300℃;可保护炉料不受氧化;但工件加热后,清理工作量较大;需消耗加热介质;环境污染较大	工具、量具、模具等的一般热处理和化学热处理
流态粒子电炉	处于流动状态的金属氧化物或石墨粒子	与电热浴炉比,炉子升温快,生产率高,工件加热后不需清理,但适用面较窄	某些截面均匀的金属材料或工件的热处理

表 2 间接电阻炉按结构型的分类和各类的用途、特点

分 类		结 构 型 式	主 要 用 途 和 特 点
按作业方式	按结构型式		
间歇式炉	箱式炉	炉膛呈箱形,炉口在端面	中、小工件的加热。设备简单,通用性大
	台车式炉	炉膛呈箱形,炉口在端面;炉底为可在轨道上移动的台车,装卸料时台车移出炉膛	大型、重型件的加热,大型容器的退火等。工件装卸方便
	井式炉	立式炉体,炉口在顶部,从顶部装卸料	轴类、丝杆、拉刀等长件和薄壳筒加热;变形小用装料筐时也可用于小型工件的加热
	罩式炉	炉体分炉身和炉座两部分。炉身呈钟罩形,炉口在其底部。有两种结构:一种炉座固定,炉身可上下移动;另一种炉身固定,炉座上下移动(后者又叫升降式炉)	金属线材、带材或薄板卷材的热处理。密封性好,一个炉身可配用几个炉座,生产率和热效率都高
	滚筒式炉	炉体呈圆柱形,炉膛内有一个滚桶,一端开口。加热时,滚桶处于水平位置并不断旋转;加热结束后,滚桶可倾侧,倒出炉料	螺栓、螺母、垫圈、销、弹簧等小型工件的加热。加热均匀,但工件相互间有碰撞
	塔式炉	炉身呈塔形,炉口在其底部,炉身可沿轨道移动,物料由炉身上部的吊挂装置吊挂,位于轨道下方有装料槽、淬火槽等用于炉料的装卸、淬火等	铝材长杆件、导弹外壳等热处理。物料变形小
	管式炉	炉身呈圆管形,两端或一端有开口	实验室中供小型工件的加热和处理用
连续式炉	坩埚炉	炉身通常为立式,顶部开口;小型,炉内配有坩埚	实验室中供熔化金属用
	传送带式炉	炉体呈隧道形,炉内有输送炉料用的传送带(金属网带或链带)	中小型工件的热处理。炉料输送平稳,炉温受传送带材料的限制,一般不超过 900℃
	推送式炉	炉体呈隧道形,炉内有导轨,炉料由推送机构推送	齿轮、短轴等中、小型工件的热处理和粉末冶金制品烧结。传动机构较简单,炉温可较高,但因料盘吸收热,热损失较大



续表

分 类		结 构 型 式	主 要 用 途 和 特 点
按作业方式	按结构型式		
连续式炉	振底式炉	用机械或电磁力使炉底板作有节奏的振动,驱使炉料前进,通常一个炉口开在进料端,另一个炉口开在炉底板终端的炉膛底部	主要用于螺栓、螺母、弹簧等的热处理。热效率高;但工作中有较大噪声
	步进式炉	炉体呈隧道形,炉底设有步进机构,尺寸相同的料块能沿炉长一步步前进	主要用于料块较重,如坯锭、板簧、轴等的加热,炉温可较高,输送机构耐热钢用量少
	辊底式炉	炉体呈隧道形,炉底由许多辊子并列组成,转动辊子,驱使在其上的炉料前进	用于管材、板材、棒材的加热。炉温受辊子材料热态强度的限制,炉温较高时,辊子要用水冷却,热损失较大
	滚筒式炉(又称鼓形炉)	卧式,炉膛内有一个用耐热钢制成,内壁具有螺旋形凸筋的滚筒,滚筒的旋转驱使小尺寸炉料前进	轴、销等小型工件的淬火。加热均匀,热损失较小;输送过程中工件相互间有碰撞
	回转炉底式炉	炉体为立式,呈扁圆柱形,炉底呈环形,能绕中心轴回转;一侧有炉口,炉底上的炉料沿中心轴回转一周即通过整个加热区	金属锭坯、中型工件等的加热。输送机构耐热钢用量少;可在同一工位或多工位工作;炉体占地面积相对较小
	传送链式炉	炉体呈隧道式,顶部纵向有槽,供吊挂炉料的吊具通过用。吊具固定在炉顶上方的传动链上	用于轴类工件的退火、回火以及涂漆件的烘干等。承载能力受吊具材料的限制;热损失较大
	牵引式炉	炉体可以是卧式或立式,炉料(丝材、线材或带材)由牵引机构牵引通过炉膛	丝材、线材、带材的热处理。加热速度快,加热均匀
	气垫式炉	炉体呈隧道形,炉料(通常是宽的带材)由牵引机构牵引通过炉膛,并由炉底自下而上吹出的气流托住,不与炉底接触	宽带材的热处理。加热均匀,带材不会被划伤

设备组成。连续式电阻炉配有进出料装置,真空电阻炉配有真空机组,控制气氛电阻炉配有气源装置。

炉体多数由电热元件、炉衬、炉底、炉壳等部分组成,卧式炉一般配有炉门,立式炉配有炉盖。连续式炉配有炉料输送装置。工业用箱式电阻炉炉体的典型结构参见彩图插页第 10 页 32 图和 33 图。

电热元件根据功率、工作温度和炉内介质等选择,其在炉内的布置应满足规定的炉温均匀度的要求。

炉衬用来形成一个绝热的密闭空间,以减少热损失和形成必要的加热条件。炉衬通常由耐火层和绝热层组成。耐火层能耐受炉子的温度,根据炉温高低和使用要求由钢板、轻质粘土砖、轻质高铝砖或耐火纤维制品等制成。绝热层的温度较低但要求绝热性能好,通常由硅藻土砖、蛭石砖或膨胀珍珠岩砖等制成。真空电阻炉有时用由金属(钼、不锈钢)薄板制成的隔热屏。

炉底大体上可分两类。一类由耐热钢制成,通常承受炉料重量,如箱式电阻炉的炉底板、振底式电阻炉的振底板、推送式电阻炉的导轨、辊底式电阻炉的辊子

等;另一类由耐火砖砌成,一般不承受炉料重量。

连续式电阻炉炉料输送装置,位于炉膛内部的构件多数用耐热钢制成,少数(如某些步进式炉)用耐火砖砌成。输送装置的结构型式随炉型而异。

电源和控制设备:间接电阻炉多数由低压配电网直接供电,少数配有降压变压器或调压装置。炉子的额定功率一般在 150 kW 以下,但个别的可大到几千千瓦。用电热合金制作电热元件的间接电阻炉,其输入功率的最大容许偏差为+10%。由于电热元件的氧化或老化,使用中实际输入功率会逐渐减少。

间接电阻炉都配有温度控制设备,控制气氛电阻炉常配有炉气控制设备,真空电阻炉有时配真空度控制设备,连续式电阻炉配有传动控制设备。

温度控制系统由热电偶、温度调节仪表、执行器等部分组成。常用热电偶及其最高使用温度是:铜—康铜热电偶,350℃;镍铬—镍硅(或镍铝)热电偶,1300℃;铂铑 10—铂热电偶 1600℃;铂铑 30—铂铑 6 热电偶,1700℃。高温时可用:钨—钼热电偶,2000℃或钨—铼热电偶,2300℃,但这些热电偶的测量误差都比较大。温度调节仪表有毫伏计式、电子电位差计式和微处理

器式几种,以电子电位差计式用得最多,但微处理器式仪表也已日渐推广应用。执行元件一般用交流接触器;有特殊要求时,用晶闸管开关元件或饱和电抗器、磁性调压器等。用晶闸管时有移相触发和过零触发两种形式。前者线路简单,但对供电网络会有高次谐波干扰;后者对网络干扰小,但线路较复杂。温度调节仪表的调节规律主要有位式(二位或三位)、时间比例(P)式和比例积分微分(PID)式等。一般多采用时间比例式;对调温要求低的用位式;要求特别高的用PID式。随着计算机技术的发展,温度、气氛、真空和(或)传动参数的综合程序控制正得到日益广泛的应用,控制精度也在提高。

技术指标 间接电阻炉的技术指标一般为:工作温度、空炉升温时间、加热能力、空炉损失功率、炉温均匀度等。在各主要类型间接电阻炉的技术标准中规定了这些指标的值以及它们的测试方法。

直接电阻炉 来自电源的电流直接通过被加热炉料并在其中产生热使炉料得到加热的电阻炉。这类电阻炉的种类很少,主要有电渣重熔炉、石墨化电炉、碳化硅电炉、玻璃窑炉等。(见直接电阻加热设备)

历史和发展 电阻炉是在19世纪中叶,有了直流发电机以后才发展起来的。开始是实验室用电炉,1891年有了碳化硅电炉,1894年有了石墨化电炉,1907年有了电极盐浴炉。1906年英国A.L.马奇(A.L. March)研制成镍铬合金丝,促进了间接电阻炉的发展。到了20世纪20年代间接电阻炉已在工业中得到推广应用,许多种结构型式的电阻炉相继出现。30年代由于化学热处理和真空热处理的发展,控制气氛电阻炉和真空电阻炉开始在工业上得到应用。二次世界大战后,炉衬材料、电热元件材料、炉气控制技术、真空技术和热处理工艺等的进步和对机械零件热处理要求的提高,进一步促进了电阻炉品种的发展和性能的提高。50年代出现了电渣重熔炉。70年代出现了流态粒子电炉。现在,电阻炉已是机械零件热处理以及石墨电极、大型合金钢锭生产的主要炉种,其发展方兴未艾。中国从50年代起开始生产电阻炉。早期是用得最普遍的箱式炉、井式炉、盐浴炉等。60年代后为满足国家重点建设的需要设计制造了多种连续式电阻炉、箱式气体渗碳炉、半连续真空炉等。1970年前后制成由推送式气体渗碳炉、淬火槽、清洗机和回火炉组成的汽车零件气体渗碳自动线。70年代以后在炉用材料、控制技术等改进提高的基础上,除对原有电阻炉产品进行设计整顿以外,还发展了渗氮炉、真空炉、淬火炉等许多新品种,产品性能也有了提高。

(齐 钢 蒋 颢 吉)

dianzuqi

电阻器 (resistor) 在电路中限制电流或将电能转变为热能等的电器。电阻器用电阻材料制成。电阻器的基本参数有:额定电阻值、额定电流、额定功率、工作制和发热时间常数。对于长期工作制,电阻器的额定功率 $P_N=I_N^2R_N$,其中 I_N 为额定电流, R_N 为额定电阻值。对于短时工作制,如电阻器最高温升限值与长期工作制的最高温升相同,则短时工作制的过载功率 P_S 与长期工作制的额定功率 P_N 的功率过载倍数 p_P 为

$$p_P=\frac{P_S}{P_N}=\frac{T}{t}$$

式中 T 为电阻器的发热时间常数; t 为短时工作时间。由关系式可见,电阻器的发热时间常数愈大,短时过载能力愈强;通电时间愈短,过载倍数也愈大。

电阻材料 电阻器的电阻材料分金属和非金属两种。常用的金属材料有铜基合金、镍铬铁合金、铁铬铝合金和铁。铜基合金的主要成分为铜镍或铜锰。材料中加入镍后可提高材料的强度,使材料的耐腐蚀、抗氧化性能较稳定。材料中加入锰后可减小材料的电阻温度系数和热电动势。由于它的价格较贵,故仅用于精密设备中。由于铜易氧化,镍铬铁合金和铁铬铝合金中无铜的成分,故此类合金可工作的温度比铜基材料的更高,并且都有较高的电阻率和机械强度,适用于制成电热元件或功耗元件。非金属材料中比较常用的有碳。此外,还有用液体做电阻材料的,如水可制成水电阻。

分类 常用的电阻器按结构形式可分为管式、框架式、铸铁式、冲压式等。

管式电阻器:将细的电阻丝绕在瓷管骨架上,外涂

瓷釉经烧结而成,见图1。此种电阻器的功耗相对较小,适用于容量不大的电路中。

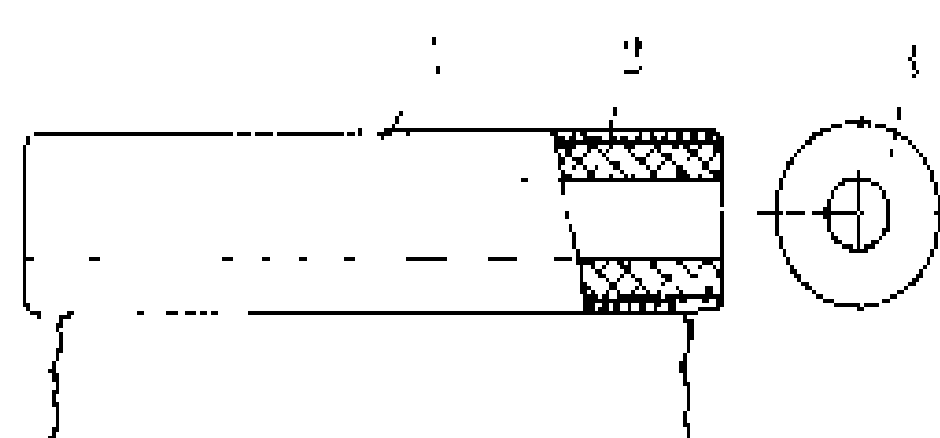


图1 管式电阻器
1—面釉; 2—电阻丝; 3—瓷管

框架式电阻

器:一种用钢板做成骨架,再用瓷槽绝缘插入钢板两边,在瓷槽绝缘上绕上丝状或带状电阻而成。图2所示是一种用带状电阻平绕在瓷槽绝缘上的框架式电阻器的结构。电阻元件截面较大时,带状电阻也可立绕成螺旋形结构。框架式电阻器多采用铁铬铝合金制成,机械强度高,材料电阻率大,工作温度高,功率也可做得较

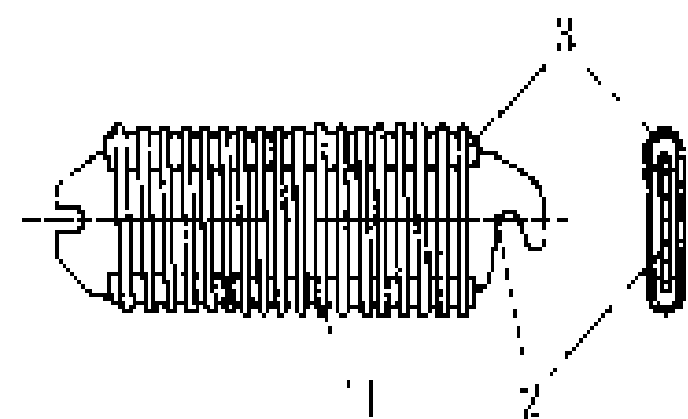


图2 框架式电阻器
1—丝状或带状电阻; 2—钢板骨架; 3—瓷槽绝缘块

大。

铸铁式电阻器：用含硅的铁熔炼浇注而成（见图 3）。它的截面尺寸及重量较大，比热容较大，短时过载

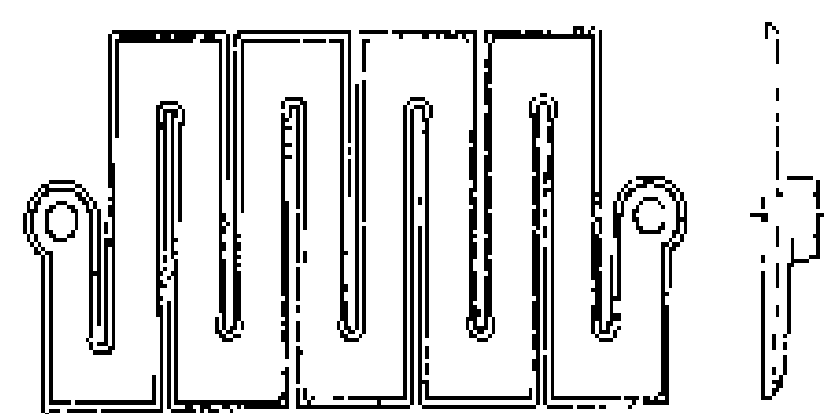


图 3 铸铁式电阻器

能力强，适用于电动机起动、制动等；缺点是电阻温度系数大，电阻值不稳定，铸铁性脆易断，在要求阻值稳定的情况下一般

不宜采用。

用途 在低压电路中电阻器有以下用途。

起动电阻：用以限制电动机起动电流，并使电动机起动过程中的电流能保持在一定范围内。它具有工作电流大、电阻值小、工作时间短的特点。

调整电阻：用以调整电路内的电流或降低受电器两端的电压。

放电电阻：并联于电器的电压线圈两端或并联于电机的励磁绕组两端，用以减少电压线圈或励磁绕组开路时的过电压。

附加电阻：串联于电器的电压线圈电路内，如串联于接触器或电机励磁绕组电路内，用以吸收部分电源电压。

负荷电阻：如用作试验电机或电器时的负荷，以吸收电能。

稳定电阻：串联于受电电器的电路中，如串联在具有非线性电阻的弧光灯或电孤焊的电路中，吸收部分电源电压以防止电路电流过大。

（甘懋云 方鸿发）

dianzuan

电钻（electric drill） 钻孔用的电动工具。电钻用于对金属、塑料及木料等钻孔。为适应不同的钻削特性，电钻有单速、双速和无级调速电钻之分。电钻一般用手握持，也可夹持在简易的台架上使用而成为台钻。

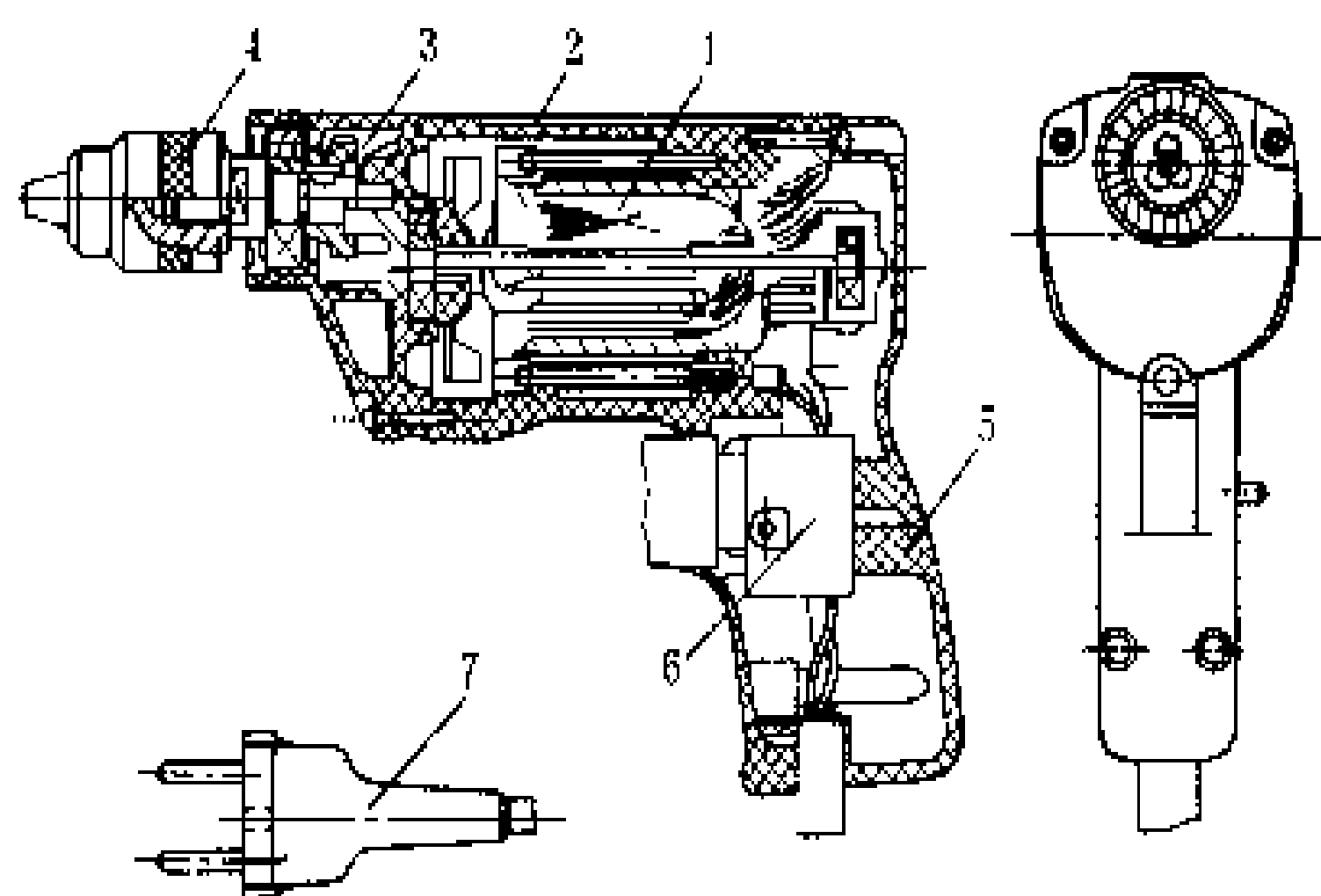
电钻的结构见图。家用电钻一般设计为Ⅰ类工具（见家用电动工具），10 mm 以下电钻采用全塑料外壳。它由前罩壳、机壳和手柄构成。手柄为手枪式，有径向对开式和轴向对开式两种结构。

电动机选用单相串励电动机，置于塑料机壳内，额定输出功率为 80~140 W，额定转速为 2200~900 r/min，大多采用一级齿轮减速，转速比为 1:4.0 左右，传动轴用含油轴承支承。钻头用扳手夹紧式钻夹头夹持，钻夹头与主轴用螺纹或圆锥连接。

电动机的旋转运动，经齿轮传动带动钻夹头及钻头旋转即能实现钻孔作业。电钻工作时施加一定的

轴向压力，该力借助手柄来实施。

双速电钻设计有两档转速的齿轮机构，有双联滑动齿轮结构和双速齿轮离合器结构两种。



电钻的结构

1—电动机；2—外壳；3—减速箱；4—钻夹头；5—手柄；6—电源开关；7—电源插头

无极调速电钻装有用闸流管等电子器件、组件与机械开关构成一体的无极调速开关，操作开关撤手即能对钻削速度进行无极调节。

（李邦协）

dingshi zhaoming kongzhi

定时照明控制（timing lighting controlling）

指对光源按人为规定的时间顺序自动开启或关闭的调节。定时照明控制用于道路、广场、家庭及工矿企业的电气照明，还用于舞台装饰、广告宣传、节日花灯等方面。定时照明控制有延时照明控制、时序照明控制和程序照明控制。

延时照明控制 当光源被打开后，经过一段时间的延迟，光源自动关闭。这种控制开关多用于楼梯、走廊、门厅、厕所等不需要长时间照明的场所。使用这种开关可避免人们忘记关灯而造成电能浪费，还可以延长电光源的使用寿命。具有延时照明控制功能的开关称为延时照明开关，又有手动型和自动型两种。

（1）手动型延时照明开关需要人为地开启光源，常用的有机械式、继电器式和电子式。

机械式延时照明开关是利用某种机械运动规律而实现的一种延时控制。钟表发条式延时开关和气囊式延时开关就属于这类方式。

继电器式延时照明开关是通过电子线路实现延时，控制继电器的动作。这种开关由于体积大，造价高，在照明控制上，已很少被采用。

电子式延时照明开关的控制方法很多，有按键式、轻触式、触摸感应式。

按键式和轻触式典型的照明控制原理如图 1 所示。图 1 中 SB 是按键式轻触开关，按一下 SB，V 导



通,点亮光源 R_L ;利用电子线路的延时和自控功能,光源自动关闭。改变电容 C 的容量可改变延时时间。

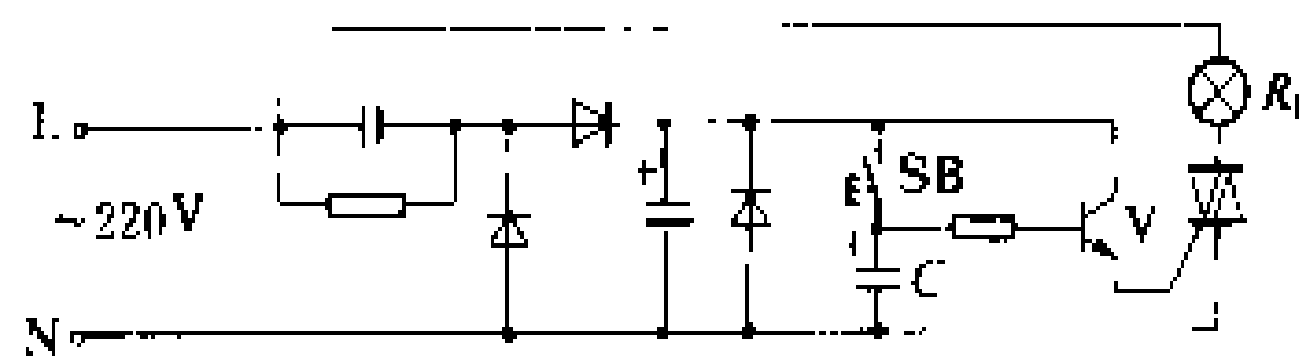


图1 按键式和轻触式定时照明控制原理

触摸感应式的工作原理是在图1基础上增加了金属感应片和感应信号放大器,电路图如图2所示:触摸一下金属片 M ,人体感应信号通过 V_1 、 V_2 、 V_3 放大后,触发 V 导通点亮光源 R_L 。

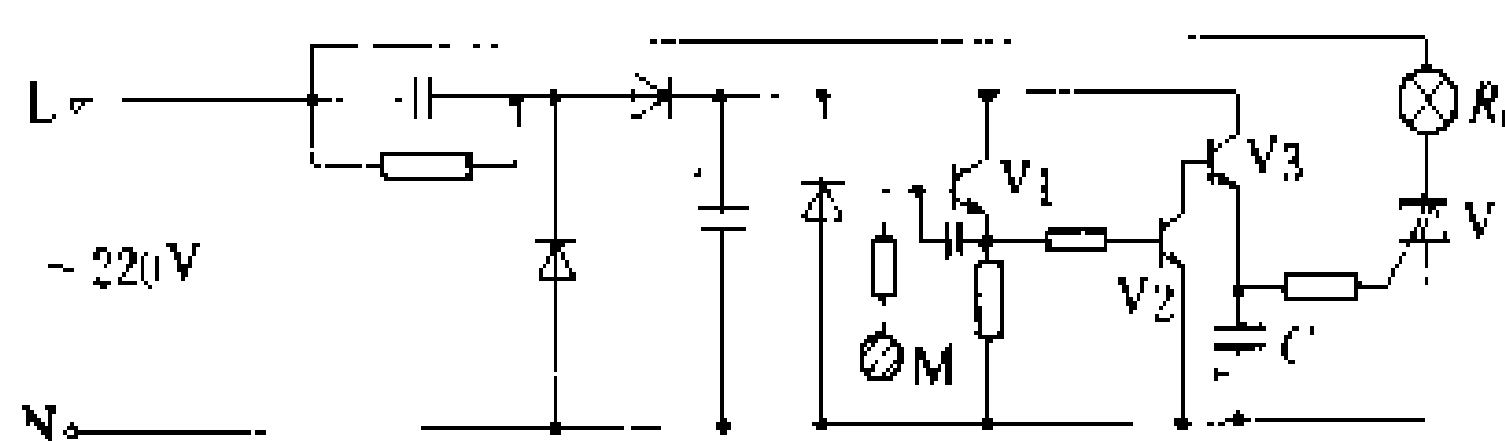


图2 触摸感应式定时照明控制原理

(2)自动型延时照明开关省去了人为的操作,同时消除了因众人操纵开关而引起的病菌传染。当人进入这种开关控制区域时,光源便自动点亮,延时后自动熄灭。这种开关一般由传感器、信号放大器,延时控制器和控制开关四部分组成。开关种类可以不同的传感信号进行区分,有声波遥控(见音频照明控制)、红外线辐射(见光电照明控制)、微波探测式和电容感应式几种。

微波探测式开关,是利用开关本身发射出的微波信号来探测在信号的有效控制区域内是否有人,当有人在这个区域内活动时,人体反射的微波信号与原信号产生相移,这个信号被检测放大后即可驱动主开关点亮光源,人离开后,经一定延时,光源自动熄灭。开关的有效控制范围在几米至几十米之内。

电容感应式开关适用于近距离控制。当人体靠近开关时,由于人体对开关电子线路的影响产生一种电信号,该信号放大后即可驱动控制开关,点亮光源,经延时后光源自熄。

自动型延时开关增加光敏传感器件并配以相应的电子线路,以避免在白天或光亮较高的环境点亮光源。

时序照明控制 指按一定时间间隔,顺序自动地开启和关闭光源。这种控制方式多用于需要定时自动开关光源的场所,如路灯、广场、厂矿车间、庭院、鸡舍等。人们还利用时序控制原理制造出了许多节日流水灯链,可逆流水灯链,延伸式彩色灯链等,用于节日装饰、广告宣传、烘托舞台气氛的装饰性灯具。

时序照明控制系统由脉冲信号发生器、脉冲分配器、开关控制器等组成,其时间间隔由脉冲信号发生器

决定,开关的顺序由脉冲分配器来控制,如图3所示。

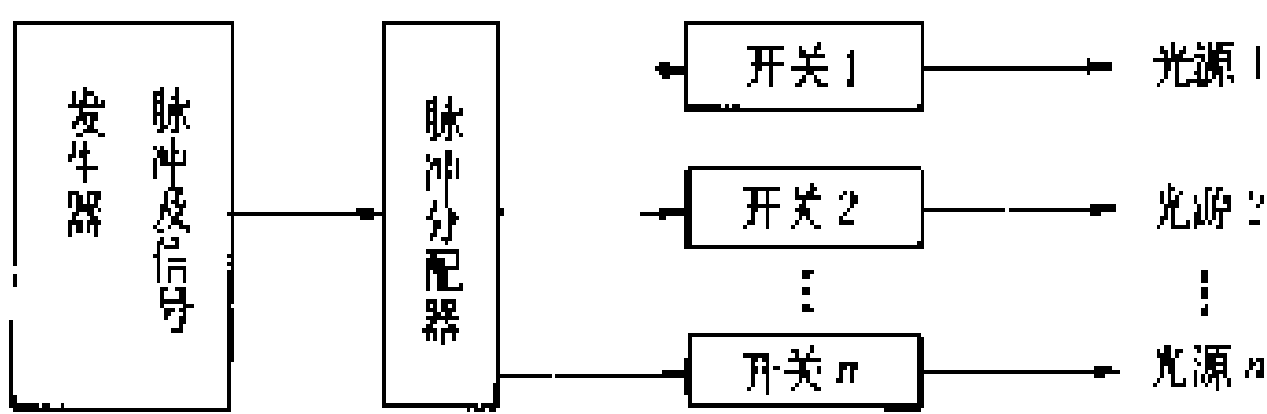


图3 时序照明控制框图

交通路口的红绿灯控制仪是一种典型的时序控制系统,它可以按人为规定好的时间间隔,自动开启和关闭指挥灯,并可以根据需要随时进行开关时间和间隔调整,代替了繁重的人工劳动,并大大提高了实施交通指挥的准确性,已在交通工程中得到了广泛应用。

程序照明控制 主要是由单板机或单片机和其他照明控制设备所组成。它的控制方式是按事先安排好的程序来控制各种不同的照明状态。

一种用于路灯、港口、铁路、厂矿、广场、立交桥等大面积照明自动控制的多功能微机照明控制仪已在许多国家得到了广泛的应用。该仪器一般由单片微机主机、光照度传感器、模数转换、显示、打印机及其驱动系统组成。它可对路灯的开关进行实时自动控制,即能跟踪每天日出和日落的时间变化,又能自动显示环境照度的变化,同时可自动打印出当天的开关灯时间,作为对用电时间及数量的核算和管理。有些仪器按格林尼治日出和日落时间,将地球的自转与公转中日照的变化规律存于机内,用户在使用中只需将当地的地球经度、纬度以及决定开关时间的照度标准置入仪器中,仪器就会显示当地全年的开关灯时间,并按其要求实施照明的自动控制,同时仪器还具有全夜灯、半夜灯、亮度调节、停电处理、报警指示、备用电源的切换等功能。

程序照明控制在舞台、大型体育场馆以及大型灯光表演场所也得到了广泛应用。

展望 定时照明控制是基于钟表技术的发展而形成的。由于钟表技术起步很早,发展很快,带动了定时照明控制技术的相应提高。尤其近年来电子钟表、时钟脉冲集成电路、单片机、计算机的出现,为复杂的定时照明控制创造了条件。随着计算机工业和电子技术的发展以及人们生活水平的提高,高智能化的具有辅助决策功能的大中型计算机照明管理与自控网络系统将会在道路照明、交通指挥等方面得到进一步的发展与应用。

(高汉卿)

dugu tielu

独轨铁路 (monorail) 车辆(电动车组)在一根导轨上运行的铁路。独轨铁路主要架设在地面而交

通拥挤的地区,车辆沿架空的轨道运行,是中等运量的交通工具。它具有以下优点:①占用土地少。因为独轨铁路轨道结构窄,且又架设在道路上方,所以可设在市区道路中间分车带上方,在市区不需要征用昂贵的土地。②运量比较大。在跨坐式独轨铁路上,列车若以6辆车编组,定员可达1626人,按3 min列车间隔运行计算,每小时运量约为32000人。③在大坡道和小半径曲线的区段仍能发挥正常性能。这一特点可以允许独轨铁路行经复杂的地段。④建设工期短、造价低。由于独轨铁路构造简单,建造容易,所以工期较短。其造价低于地下铁道,一般只相当于地下铁道造价的1/3。⑤运输安全、无事故。独轨铁路没有脱轨的危险,也不受其他交通工具的干扰,所以不会发生交通事故,能保证安全正点运行。⑥噪声低,无排气污染等公害。独轨铁路采用橡胶车轮,噪声很小;采用电力牵引,比较清洁,不污染环境。⑦乘坐舒适。由于采用橡胶车轮和空气弹簧转向架,所以列车运行平稳,旅客乘坐舒适。因而,独轨铁路适于在大中城市用作通勤线,连接机场和铁路车站的集散线,市中心到郊区的支线等。

简史 独轨铁路早在1821年就开始应用,比一般铁路领先4年。1820年,在英国伦敦码头铺设了用于货物运输的第一条独轨铁路。1888年,法国人在爱尔兰铺设了约15km独轨铁路,用于客货运输。自此以蒸汽驱动的跨坐式独轨铁路开始走向实用化阶段。这条铁路运营了36年,直到1924年停用。

1901年,德国人在伍珀塔尔市建造了一条13.3 km的独轨铁路,10 km线路跨河架设,其余架设在公路上方,是一条悬挂式独轨,采用600 V直流电力牵引。该线从1903年通车至今已近90年之久,从未发生过事故,现仍继续运行,成为世界上营业线中最古老的独轨铁路。

第二次世界大战后,独轨铁路的技术逐渐成熟,走行轨道由钢制过渡到混凝土制,车轮由钢轮改为充气轮胎,进一步降低了噪声,提高了粘着力。车轮结构和通信信号设备也不断进行现代化。20世纪50年代以来,在美国、日本、苏联、澳大利亚等国共建造了20多条独轨铁路,但大都是短距离的游览线或试验线。如美国迪斯尼乐园1959年建设的3.76 km跨坐式独轨铁路,日本读卖游乐场1963年建设的3.1 km悬挂式独轨铁路等。到1992年为止,独轨铁路最多的国家是日本,共计有8家公司开业。

1964年,东京独轨公司经营的东京羽田线(市中心—羽田国际机场)开始把独轨铁路作为城市公共交通的运输工具。该线营业里程为13.0 km,采用750 V直流电,列车由6辆车编组,旅行速度为48 km/h,高峰时列车间隔为4.5 min,日均运量约10.5万人。该

线成为旅客出入羽田国际机场的重要通道,在东京城市交通中发挥着重要作用。从此,人们认识到独轨铁路完全能够在城市交通中担当角色。

独轨铁路的发展相当缓慢,也有一些城市将试验或担当客运的一些独轨铁路拆除或停用。其原因,一是受有轨电车、公共汽车和小汽车等交通工具发展的影响;二是运输能力比传统铁路、地铁等交通工具低。但由于城市交通状况日趋恶化,独轨铁路可以利用公路和河流上方的空间,不需要专门用地而参与城市交通的特点受到人们的重视,再加上独轨技术日臻成熟和现代化,所以进入20世纪80年代以来,作为城市公共交通工具的独轨铁路得到较快的发展。日本从1985年起先后有北九州、大阪和千葉独轨铁路线延伸扩展,多摩市独轨铁路正在兴建,建设中的独轨铁路总计约34.3 km。北九州独轨铁路见图1。澳大利亚的悉尼市也于1988年建成一条长度约3.6 km的独轨,用于连接中心商业区和港口区,还准备修建一条从市中心到金湾的独轨铁路。其他国家的一些城市也在计划或酝酿建设独轨铁路。

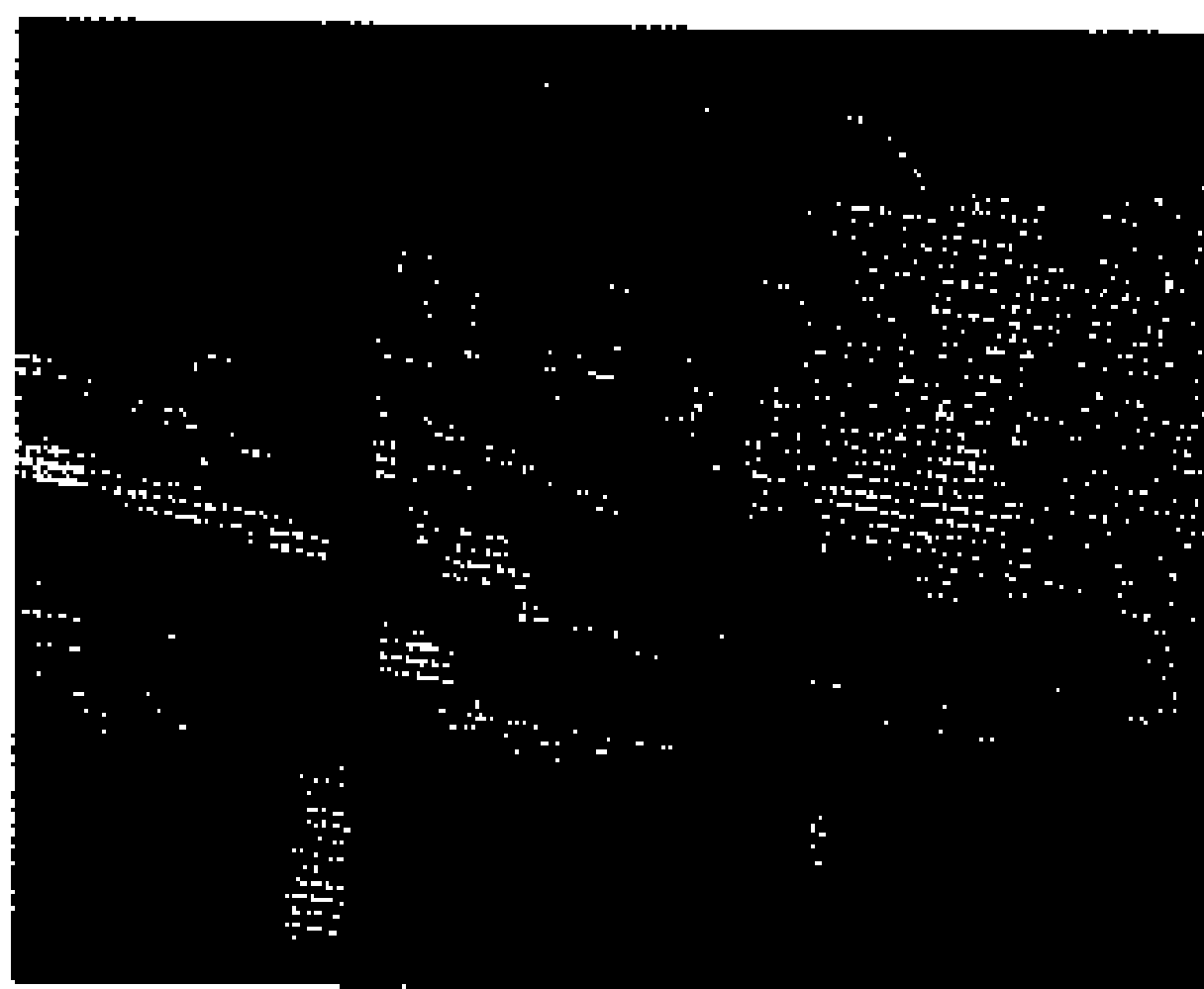


图1 日本北九州独轨铁路

分类 独轨铁路按车辆的行车状态可分为跨座式和悬挂式两大类。

跨座式独轨铁路 轨道梁一般是预应力混凝土箱形梁(在跨越河流和其他交通线路时,因梁的跨度较大,有时也采用钢制的轨道梁),车辆在轨道梁上运行。这种独轨铁路的车辆有动轮和导轮。车辆动轮以轨道梁顶面为走行面,车辆导轮以轨道梁的两侧面为走行面。车辆动轮承载车体,车辆导轮用于保持车体稳定和导向(图2)。跨座式独轨铁路和车辆以阿尔维格(ALWEG)型为代表,是瑞典企业家A. L. 维格伦于1951年委托联邦德国工程师研制,并因此而得名。日本的独轨铁道协会已按阿尔维格型进行了跨座式城市独轨铁路的标准设计。

悬挂式独轨铁路 轨道梁由一定跨距的钢支柱或钢筋混凝土支柱架在空中,车辆悬挂在轨道梁下运行。运行的车辆有非对称式和对称式两种。

非对称式的车辆有吊钩,吊钩上有钢制车轮,车轮

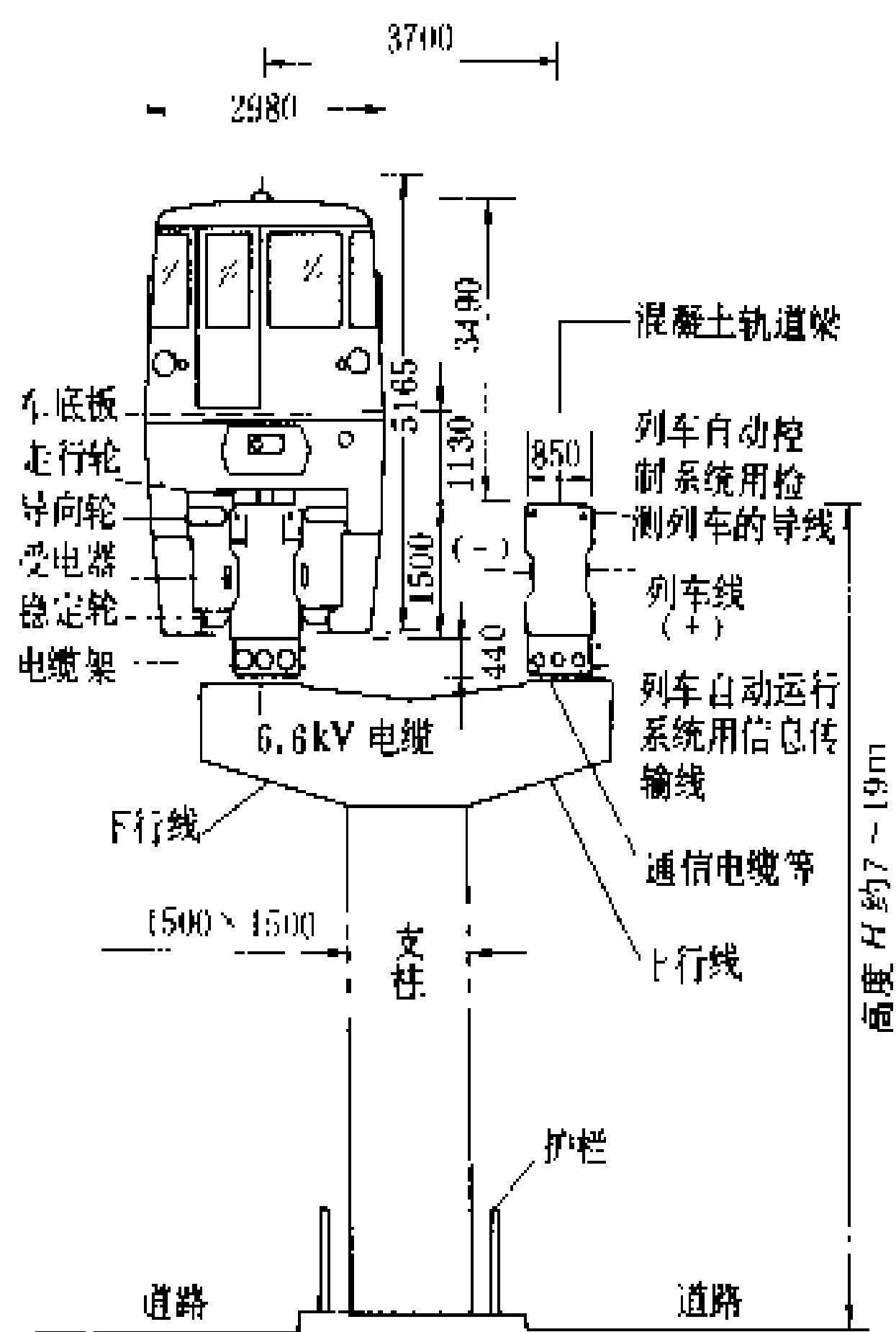


图2 阿尔维格型独轨铁路的轨道和车辆结构

在铺设于轨道梁上的单根钢轨上运行。这种形式的独轨铁路称朗根型(图3)。联邦德国伍珀塔尔市的独轨

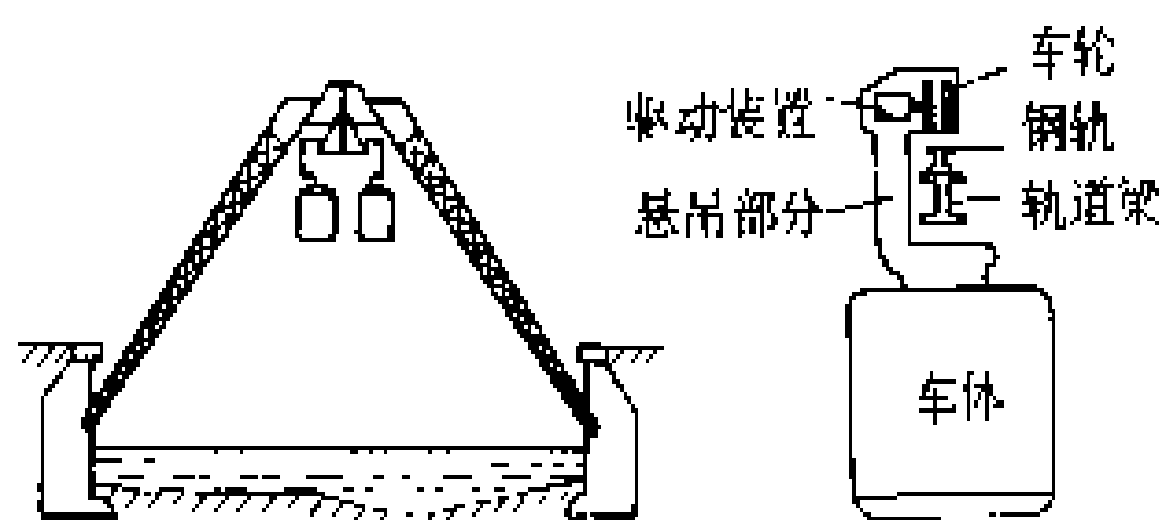


图3 朗根型独轨铁路的轨道和车辆

铁路即属朗根型。这条独轨铁路的大部分线路架设在河流上空,在沿河两岸架设人字形钢架,钢架上设轨道梁。这条独轨铁路于1901年建成,1903年延长,全长

13.3 km,车站20个,最陡坡度4.5%,每列车由两辆车辆编组(每辆载80人,车辆长12.2 m),最高速度为60 km/h。

对称式的车辆以一对橡胶车轮在轨道梁上的走行板上运行,轨道梁为箱形,悬挂于支柱的伸臂板下方。对称式独轨铁路和

车辆以SAFEGE型为代表(见图4),是法国企业

管理研究公司研制的。日本独轨协会也将此独轨铁路作为悬挂式城市独轨铁路的标准设计。

结构 独轨铁路的轨道和车辆结构与普通铁路的

轨道和车辆结构有很大差别(见图2)。但是独轨铁路的最新控制系统和先进的安全措施与现代化铁路有许多相似之处。独轨铁路由车辆、轨道、车站、控制和信号系统、通信设备和供电系统组成。

车辆 列车一般由4~6辆车组成,前后两端的动车设司机室,通常采用600、750 V或1500 V直流电牵引。车体由轻合金制成,尺寸与铁路车辆基本相似。车体底部为二轴转向架,转向架由走行轮、导向轮和稳定轮组成。列车通过转向架上安装的牵引电动机驱动。

轨道 轨道采用高架方式。轨道梁为预应力混凝土,支柱为钢筋混凝土。为保证尺寸的准确性,轨道梁用专用模具制作。在采用大跨度和高支柱结构时,也用钢制轨道梁和支柱。独轨铁路的道岔是有一定长度的关节可动式轨道梁,电动控制。轨道梁的两侧各装一根供电轨,通过装在转向架上的受电器向列车供电。

车站 根据独轨铁路的特点,所有车站基本上都建成高架式,站间距一般为0.5~1 km,站台形式分岛式和侧式两种,其宽度和长度根据需要而定。

控制和信号系统 独轨铁路的车辆采用橡胶充气轮胎,所以不能像铁路那样采用轨道作为电路,因此装设列车探测装置,以探测列车占用的区间。通过行车速度自动控制系统确保行车安全。调度集中装置也是城市独轨铁路必不可少的设备。在行车间隔小、列车密度高的线路上装设了列车自动运行装置,以减轻司机的劳动强度,并能均衡地高质量地组织列车运行。

通信设备 与传统铁路一样,在车站装有与调度员联系用的电话,列车上装有无线电话和为监视和引导旅客乘降的监视器和自动播音设备。

供电系统 独轨铁路的轨道上方不设馈电线,牵引变电所的距离必须适当。为了保障供电,基本上采用双供电系统。这种系统从发电厂供给变电所6.6 kV或22 kV的电流,两个变电所之间传送的是22 kV的电流。在牵引变电所通过整流器将交流变为1500 V直流,继续向供电轨供电。向车站设备供电采用6.6 kV交流电。

展望 由于独轨铁路采用高架方式,应注意对日照和城市景观的影响,尤其是车站建设更应注意减小对环境的影响;噪声问题仍需要继续研究克服。但是,独轨铁路是可供选择的交通工具之一,它将在城市交通中发挥重要作用。

(赵淑贞)

duli dianyuan

独立电源 (independent electric supply)

供电电源之间无任何电的联系,且能够独立存在或虽有弱的电的联系,但当其中一个供电电源故障而中



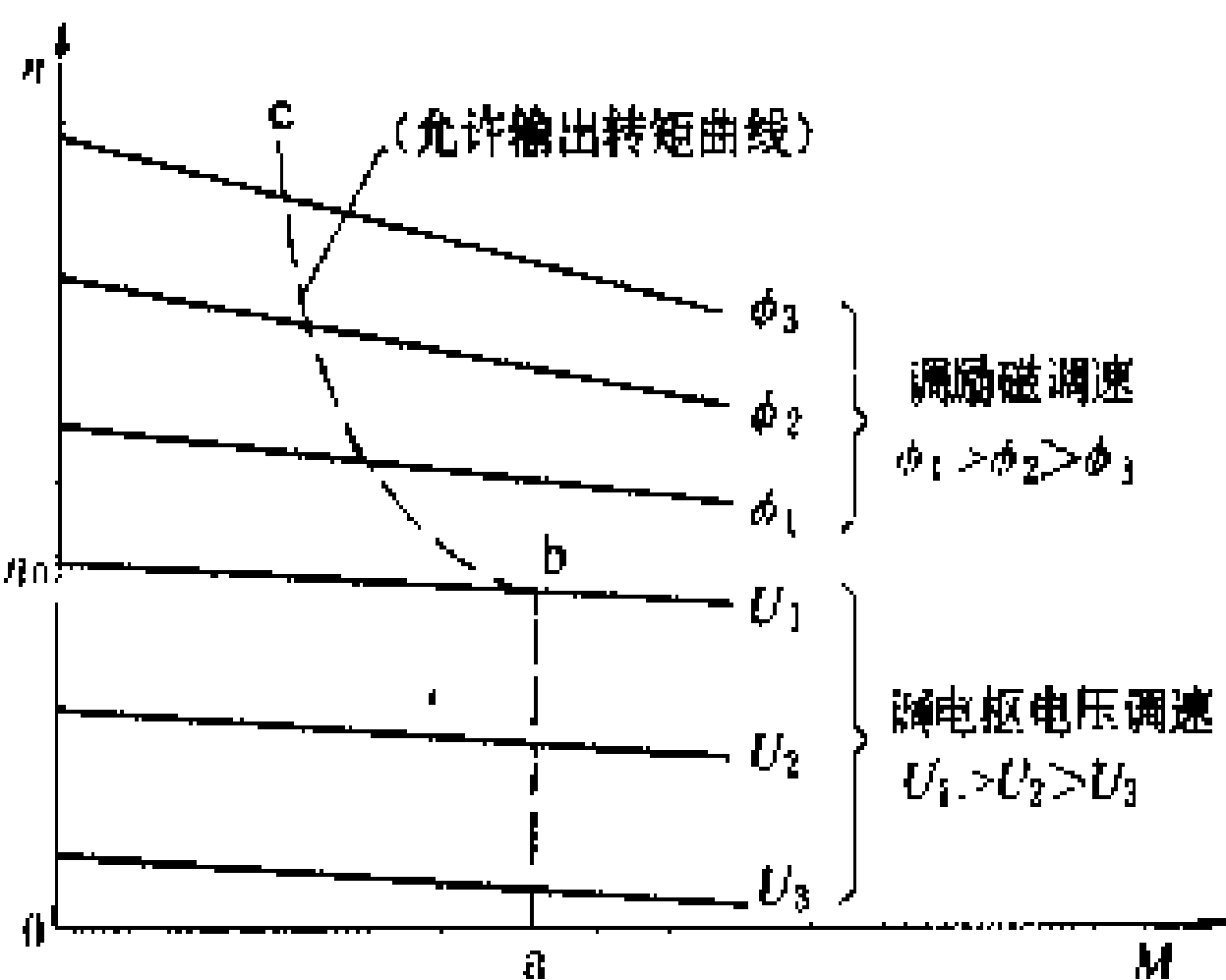
断供电时，不会引起其他供电电源供电功能遭受破坏的电源。电力系统中的公用发电厂、变电站以及企业自备电厂、小火电厂、小水电厂、燃气轮发电机组、柴油发电机组、蓄电池组都可作为独立电源。

电力系统提供的供电电源，是否可以称作独立电源，主要取决于它们相互之间电联系的强弱程度以及用户对供电可靠性要求的高低。通常，由两个电源供电并有两台及以上变压器并列运行的变电站两段低压母线上分别提供的两个电源，也可视作独立电源。

独立电源可作为用户保安负荷的备用电源。
(徐纪法)

duli kongzhi tiaoya tiaoci zhiliu tiaosu
独立控制调压调磁直流调速 (speed control of DC motor by individually changing the armature voltage and the field current)

通过个别调节直流电动机电枢回路电压和励磁回路电流实现直流电动机调速的技术。为了经济而又充分地使用直流电动机，对于只在低速段要求拖动转矩大，而在额定转速上则允许拖动转矩 (M) 随转速 (n) 升高而下降(如轧钢机、航空发电机恒速装置试验设备等)，大体上符合转矩乘转速等于常数的规律的负载，则可将整个调速范围分成调节电动机电枢电压段和调节电动机励磁电流段，中间平滑过渡，这就是直流电动机的先调压后调磁的调速控制(图中曲线 ab 及 bc)。与单纯使用调电枢电压调速相比，它可成倍地减轻所选用的电动机重量。根据其调磁控制依附于电枢电压方式的不同，又被分成独立控制调压调磁直流调速和非独立控制调压调磁直流调速。它们的区别主要在给定部分，二者均适用于调速精度要求不高的场合，如单机架初轧机、轧机的某些辅助传动装置等。



他励直流发电机的调压调磁特性

20 世纪 40 年代以前，调压调磁直流调速一般由直流发电机供电，采用继电器、接触器相应切换直流发电机和直流电动机励磁回路的电阻进行控制。从 60 年代起，由晶闸管装置供电的独立控制调压调磁调速系

统广泛投入应用，其调压和调磁是完全独立的两条通道。调压与调磁控制的相互配合，全凭操作者的经验。调压通道采用电压闭环反馈控制，调压信号恒定时，能维持电枢电压恒定。调磁通道采用电流闭环反馈控制，调磁信号恒定时，能维持励磁电流恒定。

调磁的目的是将电动机转速提高至基速以上工作(见直流电动机调磁调速)，扩大调速范围。相同转矩下减弱励磁后，电枢电流要增加，损耗也增大，因此除非调压调速范围已不能满足要求，否则不宜采用调磁调速。合理的调压调磁调速，应先在满磁状态下调电枢电压，电压升至额定值后，再调励磁，这样，电动机的容量能得到较充分利用。升速过程的先升压后弱磁，降速过程的先增磁后降压的先后程序，可由检测设备进行控制。例如，升速时先调电压，待电压升至额定值后，由电压检测元件(例如电压继电器)发出信号，才允许在维持电枢电压为额定值下，再减弱励磁升速至基速以上工作。

在这种调速系统中，电压升到额定值后，电压不能再升高，调压信号维持不变，因此，不能克服电枢压降引起的转速降，但不需要测速机，可免除安装维护上的麻烦。

此外，也有人主张将电动机的励磁电流直接受速度给定环节的控制而不直接受控于电动机电枢电压(或电动势)的直流调压调磁调速称之为独立控制调压调磁直流调速。

(谢永江)

duanwang
短网 (heavy current line) 电弧炉大电流

馈线的总称。短网由电弧炉变压器二次侧出线端到产生电弧的电极前端各串联部分组成，包括电弧炉变压器二次出线端子、软铜连接线(补偿器)、硬铜母线、软电缆、电极臂上的硬铜母线或水冷铜管、电极夹持器铜瓦、电极等。习惯上称的短网，在技术文献中称为电弧炉大电流线路。

短网是电弧炉的重要组成部分，在电弧炉运行时，短网传输强大的电流(根据电弧炉容量大小从几千安到几万安)。短网阻抗大小和各相短网阻抗的不平衡程度对电弧炉的性能有很大的影响。电阻大会增加功率损失，感抗大会使无功功率加大，使变压器容量得不到充分发挥，炉子生产率降低；三相阻抗不平衡会引起电极上三相功率不等，造成炉内炉料熔化不均和炉衬蚀损不均等，前者使熔化时间延长，后者会影响炉衬寿命。随着电弧炉容量的增大，短网性能对炉子生产率、电能利用率、耐火材料消耗以及综合运行经济指标影响也愈大。



合理的短网须兼顾以下几个方面：①各相电阻包括导体自身电阻和串联导体间的接触电阻要尽可能小；②导体的材料消耗要合理经济；③各相短网的感抗和阻抗不平衡程度要控制在允许的范围内；④便于制造、安装和维护。

电阻损耗 短网上的电阻损耗包括导体自身电阻损耗、导体连接处接触电阻损耗以及邻近短网的铁磁体构件中的涡流损耗三部分。正常情况下电阻损耗约占电弧炉有功功率的 7%~12%。

传输交流电的大截面导体中，电流会产生趋肤效应，使导体内电流向肤表集中。因此，传输交流电流的导体电阻大于它的直流电阻。电流的趋肤效应是由于围绕导体的不同强度的磁场引起的，趋肤的程度取决于电流频率、导体材料的导磁率以及导体断面的形状。实际短网的每一相导体是由多股导体组成，各股导体电流产生的磁场会相互干扰。因此短网中的趋肤效应和导体的交流电阻的情况是很复杂的。

为了有效利用导体，对于频率为 50、60 Hz 的交流电流，单根铜母线厚度一般不超过 10 mm，铝母线厚度一般不超过 14 mm。当短网由多股导体组成时，应将尽量多的导体安排在电流密集的地方。短网上各导体的平均电流密度一般如表所示。

短网上各段导体的电流密度 (A/mm²)

补偿器	铜母线	软电缆		电极臂上的 水冷铜母线	石墨电极	
		空冷	水冷		普通	优质
1~3	~1.5	1.0~1.5	3~5	4~5	0.1~0.2	0.25~0.3

在电阻损耗中，电极电阻损耗占很大的比例，其在炉内部分的损耗对加热是有用的，外露于炉体部分的损耗则是无用的。接触电阻损耗主要产生在电极夹持器颚板与电极的接触处，以及不符合规范的母线连接处。在短网设计和制作时应尽可能缩短电极外露部分的长度，导体的连接处要有足够大的接触面和压紧力。

感性压降 由短网感抗引起的电压降，以电弧炉额定电压的百分数来表示。小型电弧炉短网感性压降较小，如变压器额定容量为 0.65~12.5 MV·A 的普通功率炼钢电弧炉（炉容量为 0.5~30 t）和类似的合金精炼电炉，其感性压降为 5%~28%。为了稳定电弧和限制运行时的短路电流，在电弧炉的熔化期要串接电抗器，使回路的总感性压降保持在 30%~40%。大型电弧炉电流强度大，工作电压相对较低，减少短网的感性压降显得十分重要，一般感应压降可控制在 50%~60%。若要进一步减小，技术上比较复杂和困难。超高功率电弧炉有时感性压降可达 70%~80%。

减小感抗的措施 各相导体的感抗由其自身感抗

和与其相邻导体相互感性影响产生的互感抗叠加而成。减少短网感抗的方法主要有：①在结构上尽可能缩短导体的长度；②尽可能削弱导体周围的磁场；③在采取上述措施后还不能满足要求时，则采用低频或直流电源。

为了削弱导体周围的磁场，应不使导体周围的铁磁材料构件构成封闭的磁路；导体与铁磁材料构件要有足够远的距离；母线不用圆形断面，而用细长矩形断面，这样可以延长磁力线的路径，增加磁阻。最常用的削弱导体周围磁场的方法是利用相反电流互相削弱对方电流产生的磁场，即所谓双线制布置。它是把同一相导体分成离散的母线群，电流方向相反的各股母线群，分别交错靠拢，使得方向相反电流产生的磁场相互削弱，而剩下少量的磁场均匀地围绕着母线，于是在整个导体的截面上电流分布比较均匀，趋肤效应也最小。埋弧炉大多数采用相位 180°、电流相反的双线制布置短网，以获得满意的功率因数。三相炼钢电弧炉在结构上实现这种布置有一定困难，因而大型炼钢电弧炉的短网感抗压降不能设计得像埋弧炉那么低。

三相阻抗平衡 衡量短网三相阻抗不平衡程度的指标，称阻抗不平衡系数，它等于三相阻抗中最大值与最小值的差值同三相阻抗算术平均值之比。由于短网阻抗中感抗占主要份量，所以阻抗不平衡系数与感抗不平衡系数十分接近。对于超高功率炼钢电弧炉，阻抗不平衡系数一般应小于 5%~7%。

三相导体几何尺寸不同和结构上不对称的短网，其三相阻抗数值有时差异很大。不合理的短网设计，有时会使电弧炉三个电极上的输出功率相差很大。其中，由于导体相互间感性耦合不对称而产生三相间的功率转移互不相同，出现所谓“增强相”和“减弱相”。埋弧炉和在低功率因数下运行的炼钢电弧炉这种现象更为明显。

理想的短网阻抗平衡条件是三相导体具有相同的几何尺寸，并且在空间上互相对称布置，如大型圆形埋弧炉在条件允许时可采用三台单相变压器对称布置供电，见图 1 (a)；又如三相炼钢电弧炉短网三相导体呈空间正三角形布置，见图 2 (c)。实际上短网各相导体不可能是单根的，而是离散的一束，要做到每相导体中的每一母线都有相同的感性影响，在结构设计上是十分困难的。三相炼钢电弧炉有一种“修正平面布置”和“修正三角形布置”的短网结构，分别见图 2 (b)、(d)，也是为了实现这一目的而设计的。

短网感抗的大小和三相阻抗不平衡以及三相电极功率分配有密切关系。感抗小的短网即使阻抗不平衡程度稍大一些，但因其相差的绝对量较小，不会由此对电弧炉运行产生严重的影响。设计优良的采用双线制

布置短网的埋弧炉和具有平面布置短网的小型炼钢电弧炉,虽然短网在结构上不对称,但电炉仍能获得良好的运行效果。大型的或超高功率炼钢电弧炉,即使采用空间正三角形布置的短网,如果每相导体中的各股母线布置不当,或运行时三相电极不能保持大致相同的位置,则不仅不能减小三相阻抗不平衡度,反而会增大短网的阻抗值。

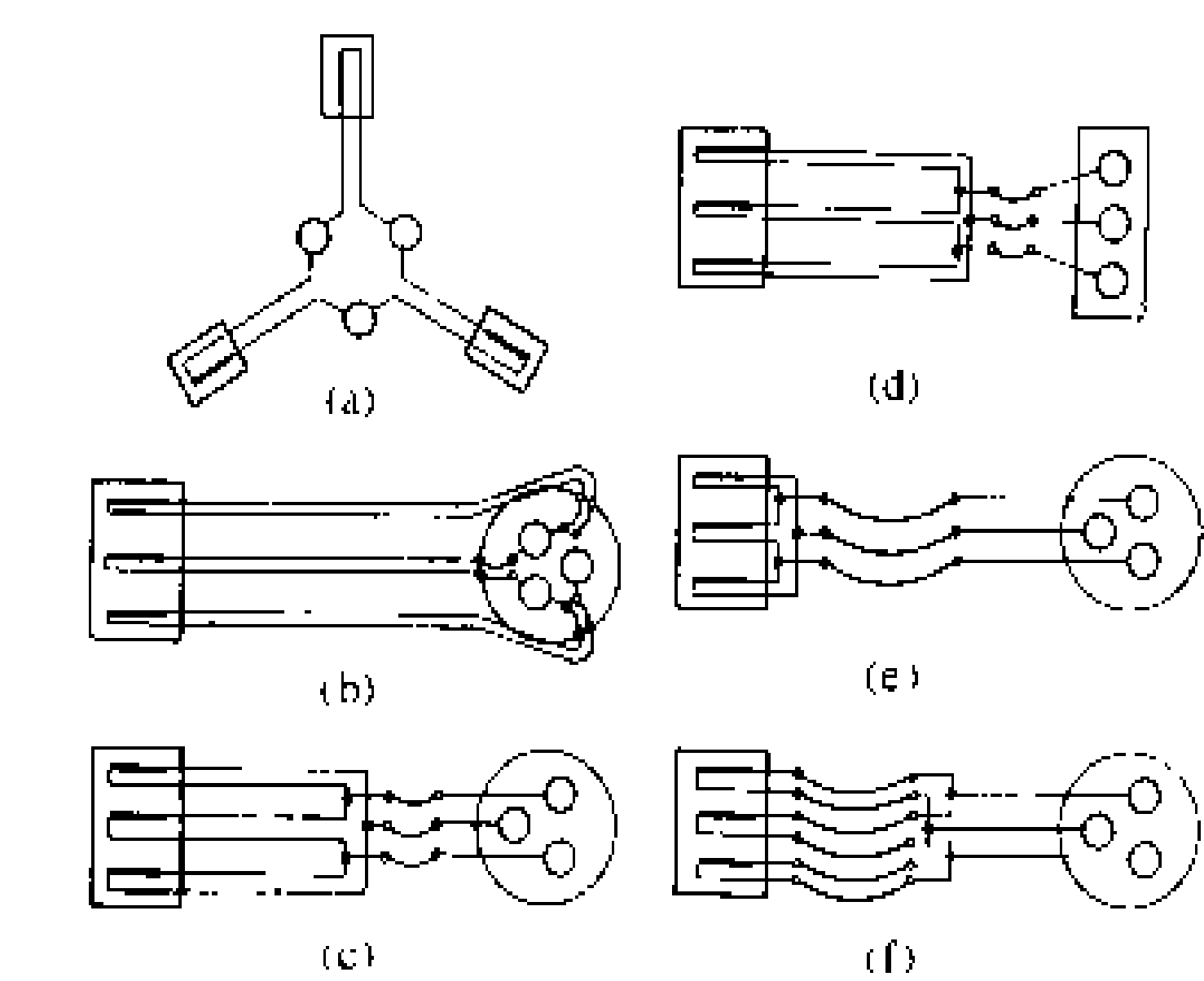


图1 短网布置图

(a) 三个单相电炉变压器围绕电炉对称布置;(b) 在电极上三角形接线;(c) 在圆形电炉附近三角形接线;(d) 在矩形电炉附近三角形接线;(e) 在变压器出线端(或附近)三角形接线;(f) 在软电缆末端三角形接线

几种常用的短网布置方式 短网布置方式常用的有图1、图2所表示的几种。其中图1(e)、(f)主要用于炼钢电弧炉,图1(a)、(b)、(c)、(d)主要用于埋弧炉。

计算和试验 在电弧炉设计时,短网的电阻、感抗、阻抗不平衡系数等,可根据导体的几何尺寸以及资料上提供的自感系数和互感系数来进行计算,或用物理模型仿真。对已安装的电弧炉则用短路试验测定数据后计算求得。计算和试验所得的数据都是近似值,因为实际电弧炉运行的状况与计算和试验时的条

件有较大的差距。

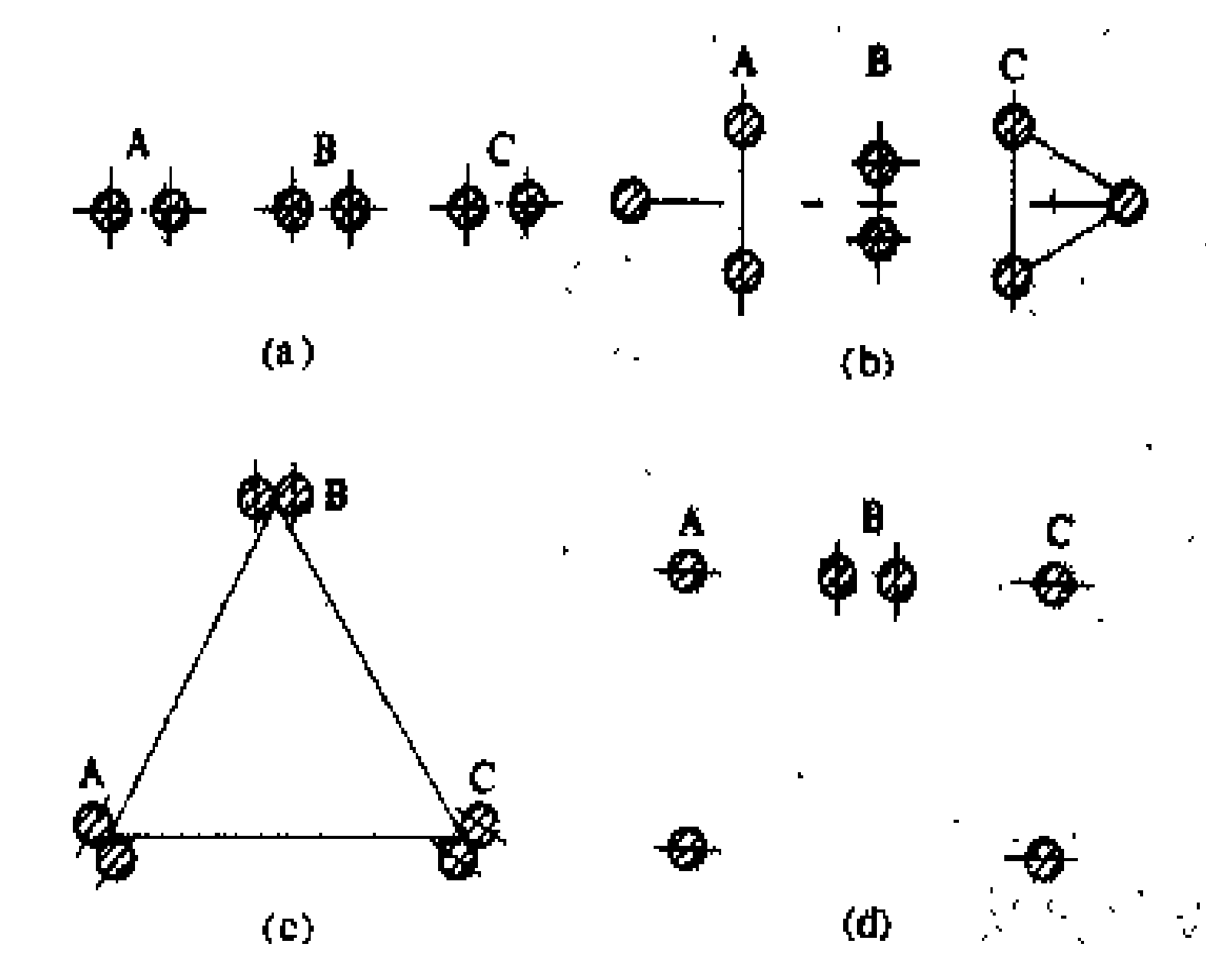


图2 流过线电流的短网导体空间布置图
(a) 普通平面布置;(b) 修正平面布置;(c) 正三角形布置;(d) 修正三角形布置

(顾竹芳 蒋聪吉)

duoyong zhongfaqi

多用整发器 (hair stylers) 用于将头发吹干、卷曲和梳理定型的多用途整容电器(见家用电器)。该电器系由电吹风派生而出。最早出现的是三用整发器。仅有电吹风、烫发钳和梳子。随着美发式样的发展,出现四用、五用和多用整发器。除电吹风、烫发钳和梳子外,又增加各种各样的附件,如整发刷、卷发刷、鼓风刷和风嘴等。电吹风原动机采用直流水磁式电机。电热元件是瓷质或云母支架上缠绕镍铬丝而成,或采用PTC元件。外壳、梳子、卷发刷等附件采用耐高温塑料或密胺材料制成。

使用多用整发器时,应根据需要选配附件,使用温度不宜过高,保持进出风口畅通。购买整发器时,除注意电源电压和加热功率外,应检查附件装卸是否方便,安装后是否牢固。

(刘有常)



faguang qiangdu

发光强度 (luminous intensity) 一个点光源在给定方向上立体角元内所发射的光通量与该立体角元之商, 以符号 I 或 I_v 表示, 即 $I = d\Phi/d\Omega$, 发光强度的单位是坎德拉, 符号为 cd。按照数学定义, 立体角一定有一个锥顶点, 因此, 严格地说, 发光强度的定义只适用于点光源。但是, 在实际应用中, 点光源是一个相对概念, 当光源的线尺寸远小于观察它的距离 ($<1/10$) 时, 即可视为点光源。

在电灯没有发明以前, 人们用一种鲸鱼油制成的烛, 用来照明。每个烛的大小、重量以及燃烧情况都要按照统一的标准制作, 把它燃烧发出的光的强度叫 1 烛光。电灯发明以后, 人们仍然沿用烛光 (cd) 这个单位来表示电灯的发光强度。它的表达方法是: 当一只电灯发光的强度是鲸鱼油的 5 倍时就叫 5 烛光; 25 倍于鲸鱼油烛发光强度时就叫做 25 烛光; 60 倍于鲸鱼油烛的发光强度时就是 60 烛光。现今虽然不再用鲸鱼油制成的烛照明, 但是有些国家的灯泡厂所生产的灯泡, 还仍然采用烛光这个单位表示发光强度。

点光源在 1 球面度立体角内发射 1 lm 光通量时, 此方向的发光强度为 1 cd。坎德拉是国际单位制中 7 个基本单位之一, 其他光度量的单位都是由它导出的。1979 年 10 月第十届国际计量大会通过的新定义是:

坎德拉是一个光源在给定方向上的发光强度, 该光源发出的单色辐射频率为 540×10^{12} Hz, 且在此方向上的辐射强度为 $1/683$ W/sr。

发光强度表征光源发射的光通量在空间的分布状况。在照明工程中, 光源或照明灯具的光强分布曲线 (亦称配光曲线) 或等光强图是进行照明计算和设计的重要资料。

参考书目

徐大刚. 光及有关电磁辐射的量和单位. 北京: 中国计量出版社, 1983

(詹庆璇)

faladi dianjie dingli

法拉第电解定律 (Faraday's law of electrolysis) 通过电解槽中电解液的电量与电极反应物质量的关系的规律。这一定律是 M. 法拉第 (Michael Faraday) 通过试验发现的, 可分为两部分。

(1) 电解时任一电极反应发生变化的物质的量与通过电解槽中电解液的电量 Q 成正比, 即与 $I \cdot t$ 成正比, I 为电流强度, t 为通电时间。

(2) 用等量的电量电解各种不同的物质时, 每个电极上起反应的物质的量与其化学当量成正比。即电极上发生 1 克当量的任何物质的变化, 通过的电量都是 96490 C。因此, 96490 C 是电化学的一个基本常数, 称为法拉第常数, 以 F 表示。

法拉第电解定律可用下式表示:

$$Q = ZF$$

式中 Q 为通过电解槽中电解液的电量, C; Z 为每一电极上发生化学变化的物质的克当量数。即电解槽通过的电量, 等于电极上发生变化的物质的克当量数, 乘以法拉第常数 F 。若以 I 表示电流强度, t 表示通电时间, M 表示变化的物质量, N 表示物质的化学当量, 则由 $Q = It$, $Z = M/N$, 得出:

$$It = \frac{M}{N} F, \quad M = \frac{N}{F} It$$

令 $\frac{N}{F} = q$, 则法拉第电解定律的另一形式为

$$M = qIt$$

式中 q 称为物质的电化当量, 通常用 mg/C 表示。

(马荫华)

fangbao dianji

防爆电机 (explosion-proof motor) 在具有爆炸性气体的地方安装的结构上能够防止气体爆炸的电机。防爆电机适用于石油、化工、煤矿等有爆炸危险的场所。具有爆炸性气体或蒸汽与空气的混合物的危险场所, 按其危险程度分为三级。爆炸性混合物, 按其自燃温度的高低分为五组; 按其试验最大不传爆间隙的大小又分为四级。各类防爆电机均按其适用场所中存在的爆炸性混合物的组别与级别进行设计与制造, 并在产品上标明。根据电机的安装场所、电压等级以及有无集电环或整流子等条件选取防爆结构。电机的防爆结构有: 隔爆型、增安型、正压型和无火花型四种。

隔爆型防爆电机 全封闭结构, 其外壳有较强的机械强度, 在组成外壳的各零部件之间的各结合面上具有一定的间隙, 能承受内部爆炸的压力, 而且不会引起外部爆炸性混合物的爆炸。电机的隔爆结合面有



静止和活动两部分：静止部分包括机座与端盖、端盖与轴承、机座与接线盒、接线盒内各有关部件间、连接两空腔的绝缘压制件与金属件之间以及绝缘压制件相互间的结合面；活动部分指转轴与轴孔间的结合面。

增安型防爆电机 为使正常运行时不产生火花、电弧或危险温度等，增加电机结构的强度和温升的安全系数。这种结构的电机容许堵转时间不得少于5 s，最好达到10 s以上；其绕组的允许温升限值比中国国家标准 GB755 87《旋转电机基本技术要求》的相应规定降低10 K；在接线盒盖与盒座之间加设橡胶垫圈；户外使用的电机应在轴伸加装甩水环。

正压型防爆电机 该电机与通风装置组成一体，机体内连续通以不含爆炸性混合物的新鲜空气或充以惰性气体，以保持运行期间机内任何部位的压力都比机外大200 Pa以上，从而阻止爆炸性混合物从外部进入电机。

无火花型防爆电机 在产品部件上采取适当措施，使电机在正常运行条件下不会点燃周围爆炸性气体混合物，且一般不会发生点燃的故障。

(吴 茗)

fangjian kongqi tiaojieqi

房间空气调节器 (room air conditioner)

一种用于向封闭的空间、房间或区域直接提供经过处理的空气的空气调节器具(见家用电器)，通常称为空调器。用于制冷的空调器，其制冷能力以制冷量(单位时间内从封闭的房间、空间或区域内除去的热量)表示，单位为W(瓦)。各国空调器制冷量范围规定不一，但多在10000 W以下，中国房间空调器制冷量范围一般为1250~9000 W。

简史 1931年美国提出窗式空调器专利。1953年日本生产出实用的窗式空调器。1960年日本开发了热泵型空调器，1961年分体式空调器进入家庭。80年代日本实现了空调器的变频控制，减少了空调房间的温度波动，提高了舒适性，节约了能源。此后，围绕着提高空调房间的舒适性，日本推出各种控制方式，包括使用湿度传感器控制空调房间湿度；进行气流控制；用智能机构预定最佳室温；使用两种制冷剂，根据外界气温的变化，实现没有浪费的制热等。

中国于1963年开始研制空调器，1965年上海电器冰箱厂(现上海空调机厂)生产了第一批窗式空调器。1980年后空调器行业迅速发展，规格品种不断增多。

分类 空调器有多种分类方法。按结构型式分为整体式和分体式。整体式包括窗式、穿墙式；分体式分为室内机组和室外机组，室内机组又可做成吊顶式、

挂壁式、落地式、嵌入式或台式等多种样式。按功能分为冷风型、热泵型、电热型、热泵辅助电热型等。按冷凝器的冷却方式分为水冷式和空冷式(空气冷却式)，家用空调器一般都采用空冷式。

结构 空调器一般由四部分组成。①制冷系统：它是由压缩机、节流用的毛细管(或膨胀阀)、热交换器(蒸发器、冷凝器)及连接管组成的封闭系统，系统内充灌制冷剂，一般为氟里昂R22。②空气循环系统：主要包括风扇电机、离心风扇、轴流风扇、风道、风门、空气过滤器等。③电气控制系统：主要包括温度控制器、选择开关、过载保护器、电磁换向阀等。④箱体部分：主要包括外壳、底盘、面板等。窗式空调器结构见图1。

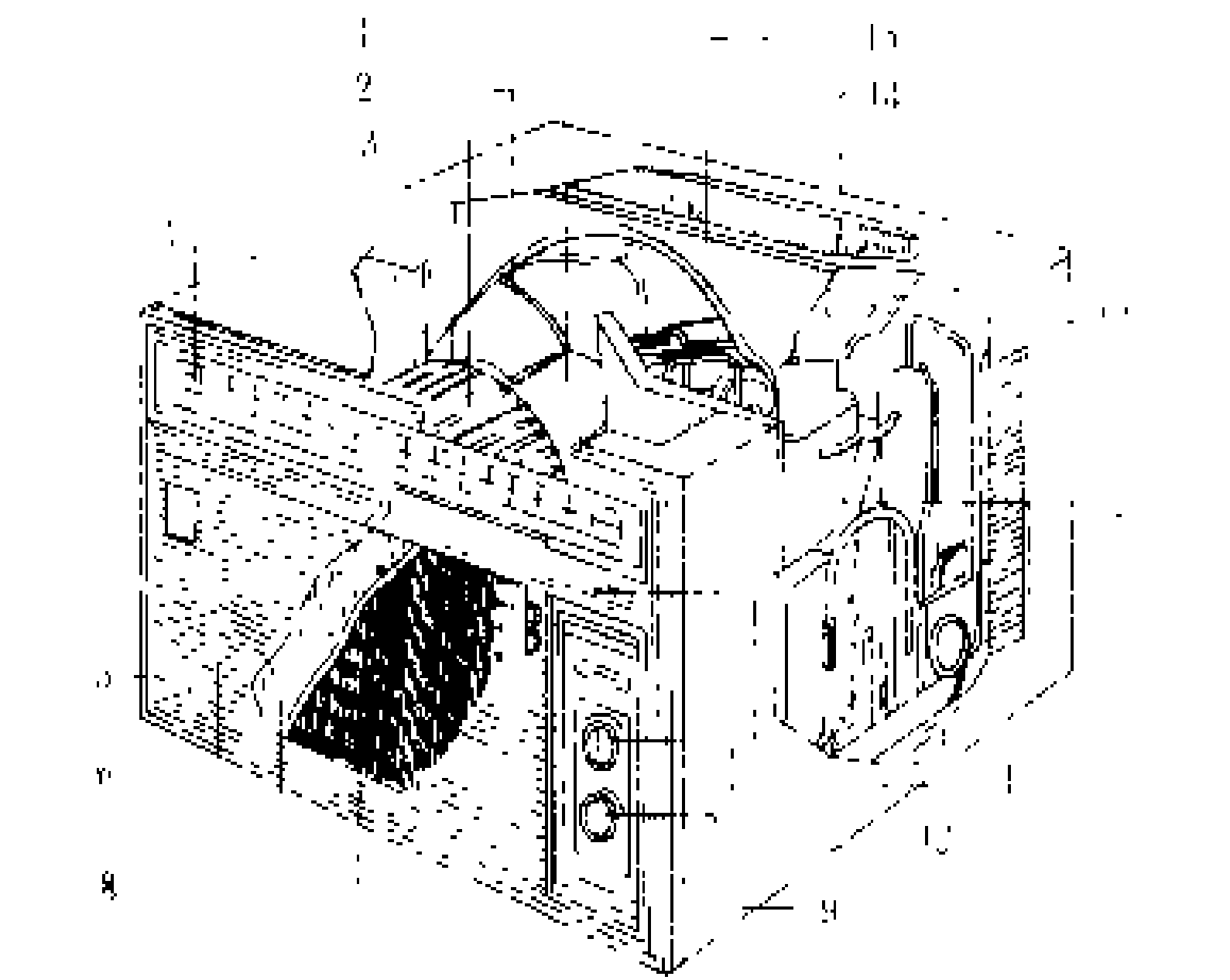


图1 窗式空调器结构图

- 1—风扇电机；2—轴流风扇；3—离心风扇；4—出风格栅；5—面板框架；6—进风格栅；7—空气过滤网；8—蒸发器；9—总控制开关按钮；10—温控开关按钮；11—风门拨动开关；12—封闭式压缩机；13—外壳；14—冷凝器；15—电磁换向阀

工作原理 空调器的工作原理见图2。制冷运行时，压缩机吸入制冷系统内的低压气体，经压缩形成高压高温气体送入冷凝器中，通过轴流风扇的作用，将

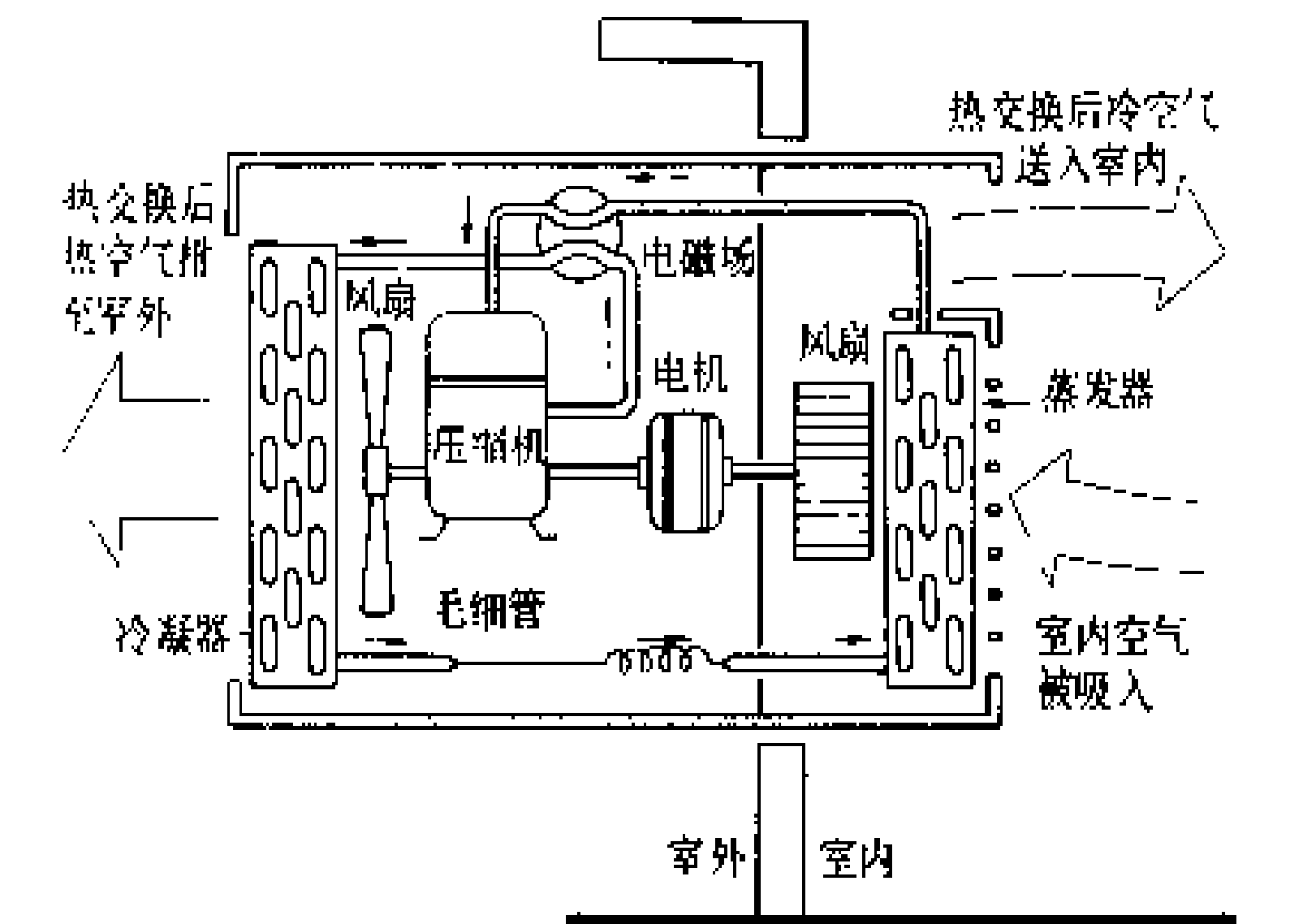


图2 空调器工作原理示意图



高压高温气体的热量带走排至室外，使制冷剂冷凝成液体，液态制冷剂经毛细管节流后进入蒸发器内蒸发，并吸收离心风扇吸入的室内空气的热量，使房间温度降低。由于蒸发器的表面温度低于空气的露点温度，故室内空气中的水蒸气在急剧降温时冷凝成水滴排走，如此往复循环，以改变房间的温度和湿度。空气的净化由格栅和具有滤清作用的过滤网组成的过滤器完成。通过改变电机的转速，可调节空气的流速。

热泵型空调器具有制冷制热功能。其制热功能主要靠安装在制冷系统中的电磁换向阀完成。需要制热时，将选择开关拨向“热”档，通过电磁阀换向，使制冷剂在系统内的流向与图 2 所示的流向相反，蒸发器和冷凝器的作用互换，可达到制热的目的。

空调器工作的环境温度通常为 18~43℃。热泵型空调器制热运行时，其工作的环境温度可达-5℃，但环境温度越低，热泵制热的效率越低。

安装与使用 空调器应安装牢固并加设遮光防雨罩。窗式空调器安装应稍向室外侧倾斜，以排除冷凝水。空调器用专用线供电，不能用分支插座。在供电线路上加装 15 A 熔断器。电源一般为 220 V 交流电，其供电电压应在额定电压的±10%以内。使用时，当压缩机停机后，必须间隔 3 min 再启动。电热制热时，注意控制电路不应使风扇停转。遇有停电时，应立即将控制开关拨至“停”位。空调器过滤网应定期清洗，以提高空气清新度。空调器的冷凝器、蒸发器易积灰尘，亦应定期清理。清洗时应使用软毛刷或软质布料，小心轻刷，清洗完毕应晾干后放回原处。

发展趋势 20 世纪 80 年代末，模糊控制理论开始用于空调器。模糊控制具有反应快、控制规则简单、适应性强等优点。模糊空调器可以根据测定的吸入空气温度与设定温度之差，及其随时间的变化，用模糊理论进行控制，以获得最佳温度。

参见彩图插页第 28 页 88 图。

参考书目

- 马仁民主编，空气调节，北京：科学出版社，1980
- 廖启森主编，空气调节用制冷技术，北京：中国建筑工业出版社，1981
- 川平睦义著，封闭式制冷机，张友良，彭伯彦译，北京：轻工业出版社，1987
- （川平睦義著，密閉形冷凍機，社團法人日本冷凍協會，昭和 56 年）

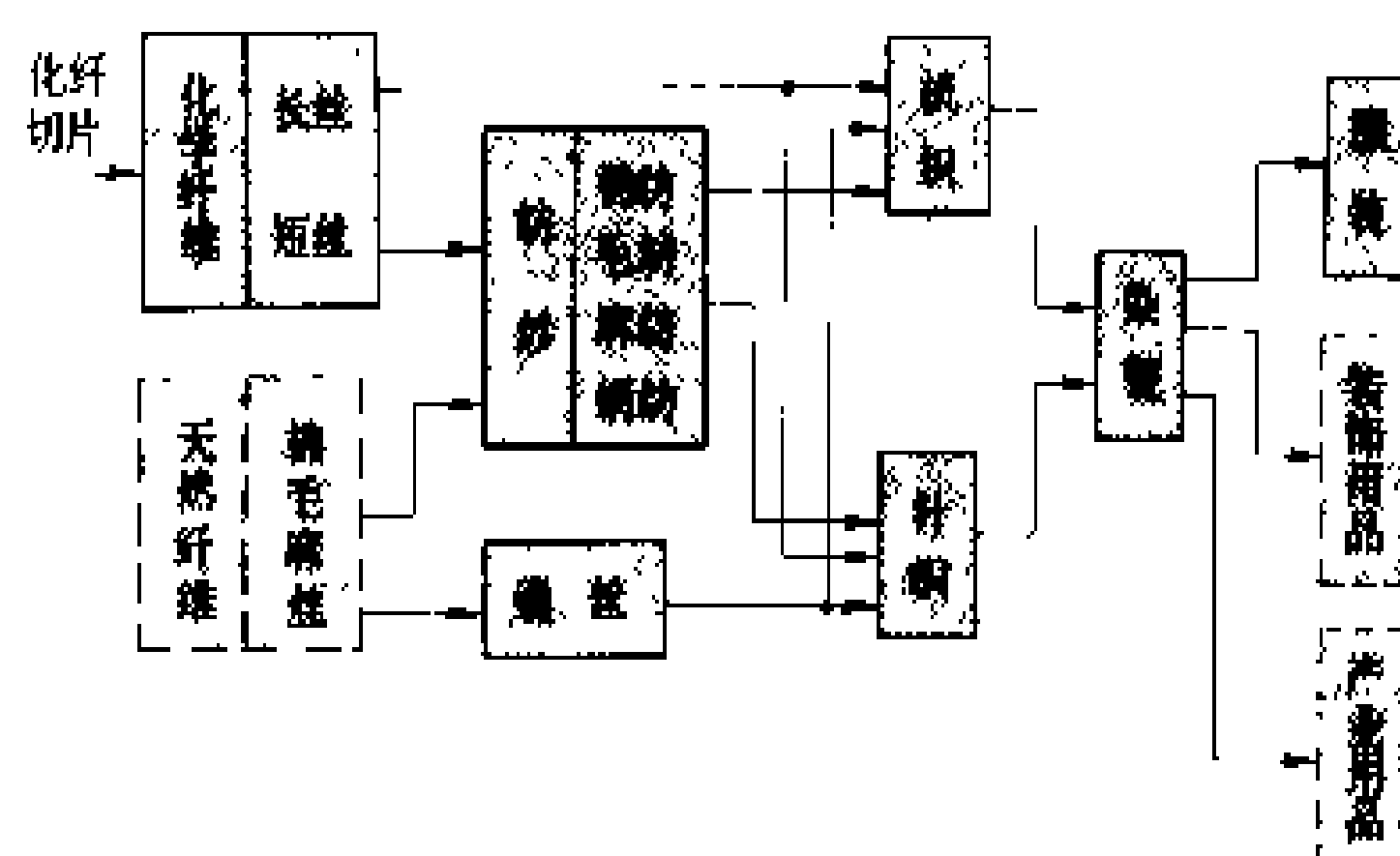
（姜俊明）

fangzhi gongye yongdian

纺织工业用电 (electrical energy utilization of textile industry) 纺织工业由棉纺织、印染、毛纺织、针织、麻纺织、丝绸、化学纤维、服装、

纺织机械等组成，种类多、生产规模大，是中国传统支柱工业之一。1949 年，中国纺织工业用电量占全部工业用电量的 32%。

纺织产品生产工艺流程长，原料包括各种化纤切片和各种天然纤维，最终纺织产品主要为服装、装饰和产业用三大领域。不同原料、不同产品，生产工艺各异，生产工艺装备也不相同。一般纺织产品生产工艺流程见图。



一般纺织产品生产工艺流程

化纤、纺织、染整、服装生产工艺设备达数千种，主要用电负荷为生产工艺设备和辅助设备，如电动机、电加热、车间照明等。

纺织工业的用电特点：

- (1) 化纤、纺织、染整一般为昼夜 (24 h) 连续生产，日负荷曲线较平稳，日负荷率一般在 80% 以上。服装、纺织机械、器材行业为一班制或二班制生产。
- (2) 化纤、染整工艺中部分设备如烧毛机、油焗炉等为二级用电负荷，纺织、服装等一般为三级用电负荷。
- (3) 用电负荷为感性负荷，自然功率因数在 0.8 以下，功率因数补偿一般采取在变压器低压侧接入静电电容器的集中补偿，就地电容器补偿将逐步推广。
- (4) 中国纺织工业的单位产品 (产值) 耗电除化学纤维略高于经济发达国家外，一般低于经济发达国家，这是由于发达国家纺织业机械化、自动化程度较高，对生产车间的空调、除尘、降噪、照明以及大气环保等标准都比较高的缘故。

见棉纺织工业用电、毛纺织工业用电、印染工业用电、化学纤维工业用电。

（陈金镜）

feiduli kongzhi tiaoya tiaoci zhihu tiaosu

非独立控制调压调磁直流调速 (speed control of DC motor by non individually changing the armature voltage and the field current) 通过同一个给定信号调节直流电动机电枢回路电压和励磁回路电流实现直流电动机调速的



技术。调磁调速时励磁由电枢回路的电动势信号控制,能方便地实现升速过程的先升压后弱磁控制和降速过程的先增磁后降压的控制顺序。

非独立控制调压调磁直流调速可分为励磁双闭环控制和励磁单闭环控制两种控制方式。

励磁双闭环控制方式 如图 1 所示,电枢电压由双闭环系统控制,系统中具有包含速度调节器 ST 的速度闭环和电流调节器 LT 的电流闭环。总的一个调速信号 u_{gn} 加在 ST 的输入端。励磁电流也由双闭环系统控制,系统中具有电动势调节器 ET 和励磁电流调节器 LLT 构成双闭环。由于调磁调速过程实为电动势恒值调节过程,所以励磁控制系统中把电动势调节环放在外环。

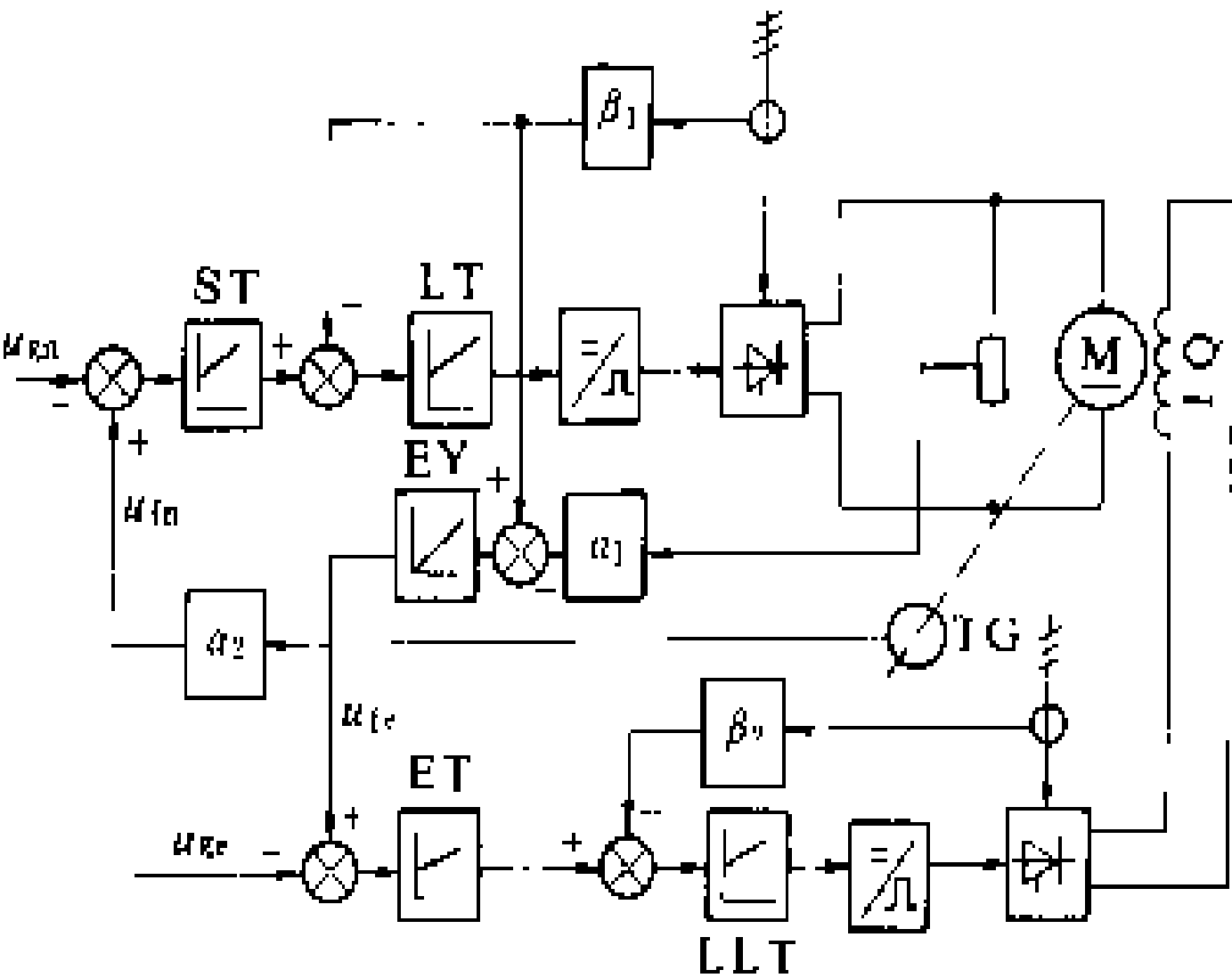


图 1 非独立控制调压调磁调速系统示意图
LLT—励磁电流调节器; ST—速度调节器; LT—电流调节器; EY—电动势运算器; ET—电动势调节器
 α_1 —电压变换系数; α_2 —转速变换系数; β_1 —电枢电流变换系数; β_2 —励磁电流变换系数

基速(调压调速的最高转速)以下调速过程中,电动势运算器 EY 输出的电动势反馈信号 u_{fe} 小于基速电动势给定信号 u_{ge} , 电动势调节器 ET 处于饱和状态,其限幅值即为满磁给定值,使电动机保持在满磁状态下运行。因此,基速以下是双闭环控制的调压调速系统。

一般当电动机转速升至额定转速的 95%, 即确定为基速以上升速过程,取此时的电动势反馈信号 u_{fe} 等于 u_{ge} , ET 开始退出饱和。转速再升高,电动势 E 增大,便出现 $u_{fe} > u_{ge}$, ET 输出下降,使励磁电流减少,磁通 Φ 减弱。随着 Φ 下降,电动势 E 又逐渐恢复原值。若 ET 为比例调节器,调速至最高转速时,电动势 E 可上升至额定电动势值。若 ET 和 LLT 采用 PI 调节器,可实现电动势和励磁电流的无静差调节。调磁开始点的电动势值取为额定电动势值,可得到电动机转速达到额定转速后才开始弱磁升速的调磁调速过程,这就提供了充分利用电动机容量的条件(见独立控制调压

调磁直流调速),但同时也提高了其技术难度。

基速以上减速,可降低转速给定值 u_{gn} , 使 $u_{gn} < u_{fn}$, 在 ST、LT 的作用下,整流电压下降,电动机降速,电动势 E 下降,致使 $u_{fe} < u_{ge}$, ET 输出增大,使励磁电流和磁通增加,随之 E 回升趋向原值。这一过程直至转速降到新的给定值,整流电压又大于电动势,电枢回路建立起负载电流,运行速度才趋于稳定。由此可见,基速以上的降速过程也是电动势的恒值调节过程。转速降至基速以下, $u_{ge} > u_{fe}$, ET 进入饱和状态,电动机励磁增至满磁,系统进入降压降速过程。

由于基速以上调速过程中,电动势基本不变,电枢电压变化很小,所以这种调速系统的主反馈必须采用转速反馈,以使 ST 输入端的速度给定信号 u_{gn} 能始终与转速反馈信号相比较。采用转速反馈控制,能获得比电压反馈控制更高的调速精度。非独立控制调压调磁直流调速(双闭环励磁控制)系统调试方便,结构比较合理,励磁电流反馈始终起作用,可对励磁回路的大时间常数进行补偿,动态性能较好,广泛应用于各种调速系统,如冷、热连轧机传动,可逆冷、热轧机主传动。

励磁单闭环控制方式 图 2 所示是采用最大值选择器的非独立控制调压调磁直流调速系统,电动势调节和励磁调节共用一个调节器,用一个最大值选择器把电动势反馈与励磁电流反馈作用分开。最大值选择器由二极管 V1、V2 构成,同时送来的两个反馈信号,通过二极管进行比较,只有较大的一个信号能送入励磁电流调节器 LLT。转速在基速以下时, $u_{fn} > u_{fe}$, V1 导通, V2 截止,励磁电流反馈构成闭环调节,维持励磁电流恒定。转速高于基速时, $u_{fe} > u_{fn}$, V2 导通, V1 截止,电动势反馈起作用,转速升高,励磁电流下降,维持电动势恒定。这种系统工作原理与双闭环系统基本相似,只是省了电动势调节器 ET,是一个单闭环励磁控制系统。

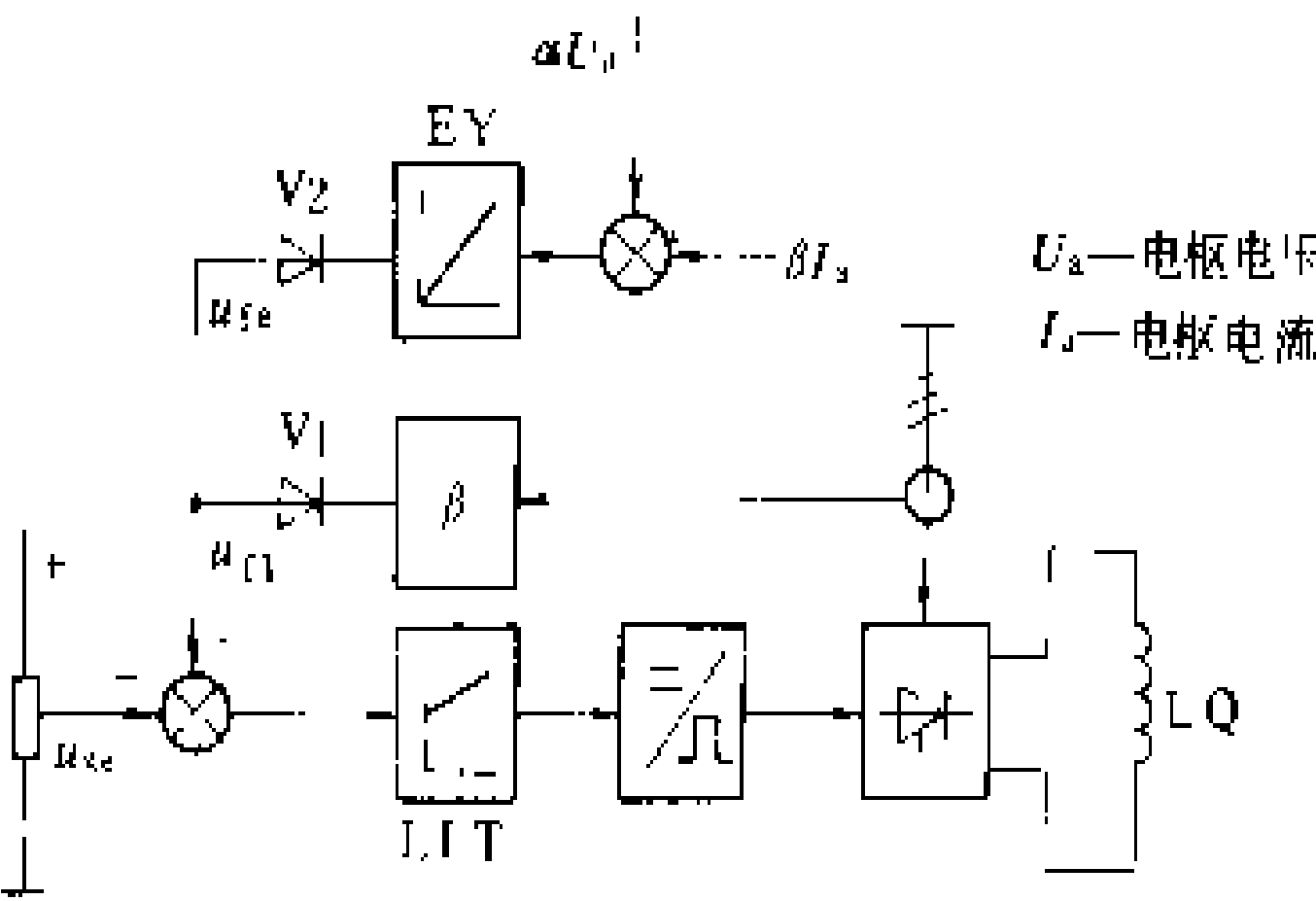


图 2 采用最大值选择器的励磁控制系统

(谢永江)

feixianxing fuhe

非线性负荷 (distortion load) 具有非线性

阻抗特性的用电设备从电力系统吸取的功率。具有非线性阻抗特性的用电设备,其阻抗随外施电压或电流的变化而变化,或者说其阻抗是电压或电流的函数。当向这类设备外施正弦波形的电压时,它将从电力系统吸取非正弦波形的电流;当向这类设备通以正弦波形的电流时,其受电端上即形成非正弦波形的电压。因此,非线性负荷最大特点是会引起电力系统电压或电流正弦波形的畸变。产生非线性负荷的设备有:半导体整流器、逆变器、变频器,电力牵引机车,电弧炉,感应电炉或加热器,气体放电灯,各种半导体调压、调相、调频装置以及用半导体元件做成的各种家用电器等。这些设备的容量大到几万千瓦,小到十几瓦,是一些使用十分广泛的电气设备。

产生非线性负荷的设备称之为谐波源。在电力系统中,各种谐波源产生的谐波对电力系统造成了污染,影响到整个电气环境,包括电力系统本身和广大用户。因此,不论从保证电力系统的安全经济运行或是从保证用电设备正常运行来看,对谐波污染造成的危害加以限制都是必要的。为解决谐波对电力系统的污染,必须对非线性负荷采取措施(如装设滤波器等),将谐波限制在规定值以下。

(王秉宗)

fengji benglei diankong xitong

风机泵类电控系统 (electric drive control system for fan and pump)

用以实现风机泵类机械正常运转的电力拖动和控制等电路组合的总体。风机泵类机械是应用量大、面广的通用机械。无论是冶金、石油、化工、纺织、煤炭、电力、轻工等工矿企业,还是农业都装有大量的风机和水泵。风机和泵类负载的特点是长期工作、平稳负载、起动不困难、运行稳定。通常工厂设计时,系按生产中可能需要的最大风量或流量并留有较大的裕量选择风机或泵,拖动用的电动机,以前一般采用不调速的运行方式,当实际运行所需风量或流量减小时,只好用挡板调节风量或流量,能量利用率很低。近些年来,为取得最佳运行效果,这类机械也开始要求调速,以达到节能的目的(见风机节电技术、泵类节电技术),因而电控系统也就比不要求调速时的要复杂些,不仅有一般的保护和操作电器控制回路,同时还包括调速控制回路。

主传动系统 风机泵类机械所用的电动机,普遍为感应电动机。这是因为感应电动机结构简单、运行可靠、维护方便、价格便宜。特别是最近几十年来,由于电力电子器件和变流技术、控制技术发展的,感应电动机的调速技术已迅速发展起来,能满足风机泵类负载调速节能的要求。

风机泵类电力拖动主传动系统主要方案有:变极对数调速拖动系统、串级调速拖动系统、变频调速拖动系统和大功率无换向器电机拖动系统。

(1) 变极对数调速拖动系统。这种系统的控制电路简单、占地面积小、维护方便、价格低廉,但系有级调速,一般仅有2档或3档转速。如果将此系统与定子调压或电磁调速电动机结合起来,可以得到既减少转差损耗,又在相当范围内平滑调速的较高效率的拖动系统。

(2) 串级调速拖动系统。这种系统适用于绕线转子感应电动机。优点是变流设备容量(转差功率)小,较其他无级调速方案经济;缺点是必须使用绕线转子感应电动机,功率因数低,增加电机损耗,最高转速降低。现已开发出多种改善功率因数的线路。双馈电机可克服一般串级调速的一些缺点,但变流和控制复杂、成本高。

(3) 变频调速拖动系统。这是一种理想的拖动系统,且可使用笼型感应电动机(或同步电动机)具有串级调速拖动系统效率高的优点。如采用脉宽调制(PWM)变频调速,还可提高系统的功率因数和减小谐波。晶体管PWM电压型交流-直流-交流变频调速可用于100~200 kW设备,晶闸管电流型交流-直流-交流变频调速可用于几百千瓦至2000 kW大型设备。交流-交流直接变频调速(600 r/min以下)可用于几千千瓦以上的特大型设备(同步电动机)。这种拖动系统的控制电路复杂,总投资较高,甚至高达电磁调速电动机的4~5倍。

(4) 大功率无换向器电机拖动系统。大功率无换向器电动机(600 r/min以上)也可用于几千千瓦以上的特大型设备(同步电动机)。某些特大功率(几万千瓦)的风机和泵,虽不调速,但需变频起动装置,也可用大功率无换向器电机拖动。

电控系统 图1为典型的双闭环控制晶闸管串级调速的电控系统原理图。如果对转速变化率没有特殊要求,可以采用开环控制系统,图2为一泥砂泵的开环控制串级调速电控系统原理图,电动机采用频敏变阻器起动,起动后转变至串级调速,调速由自整角机组

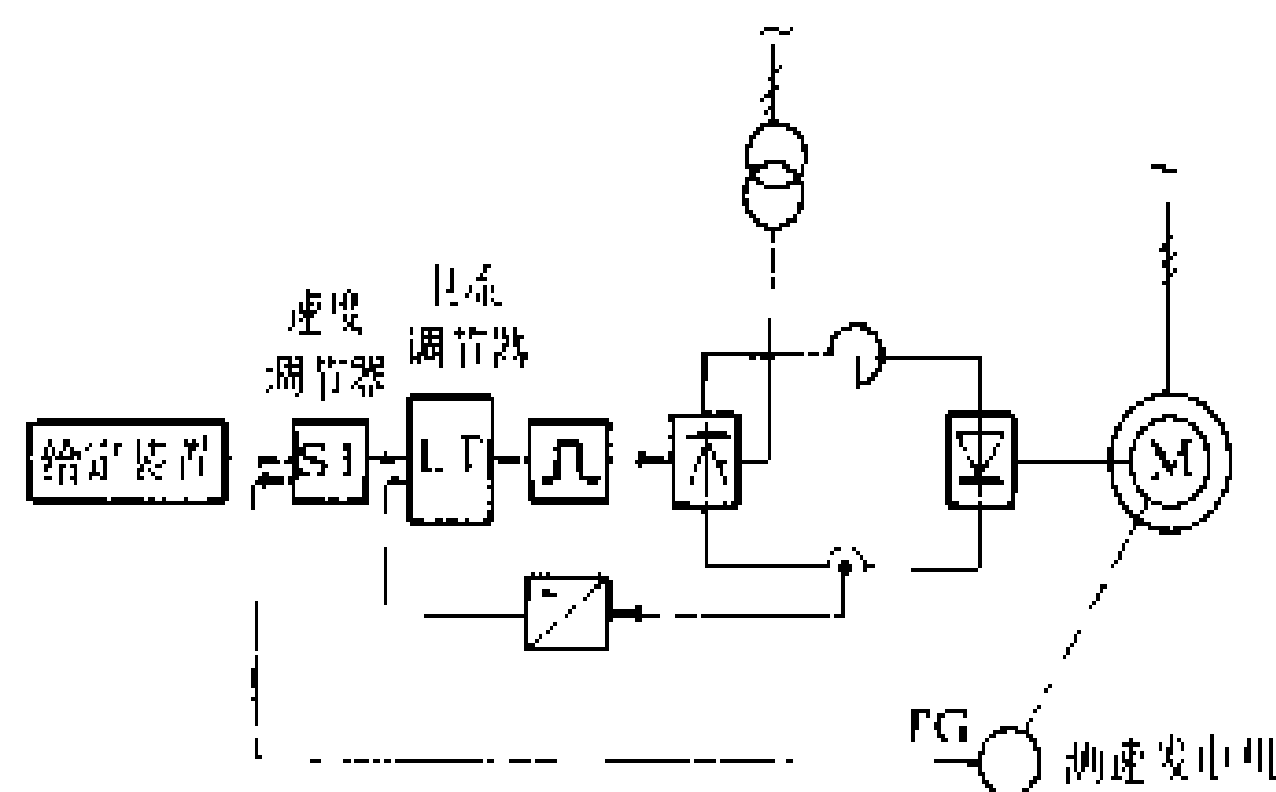


图1 闭环控制的串级调速电控系统原理图

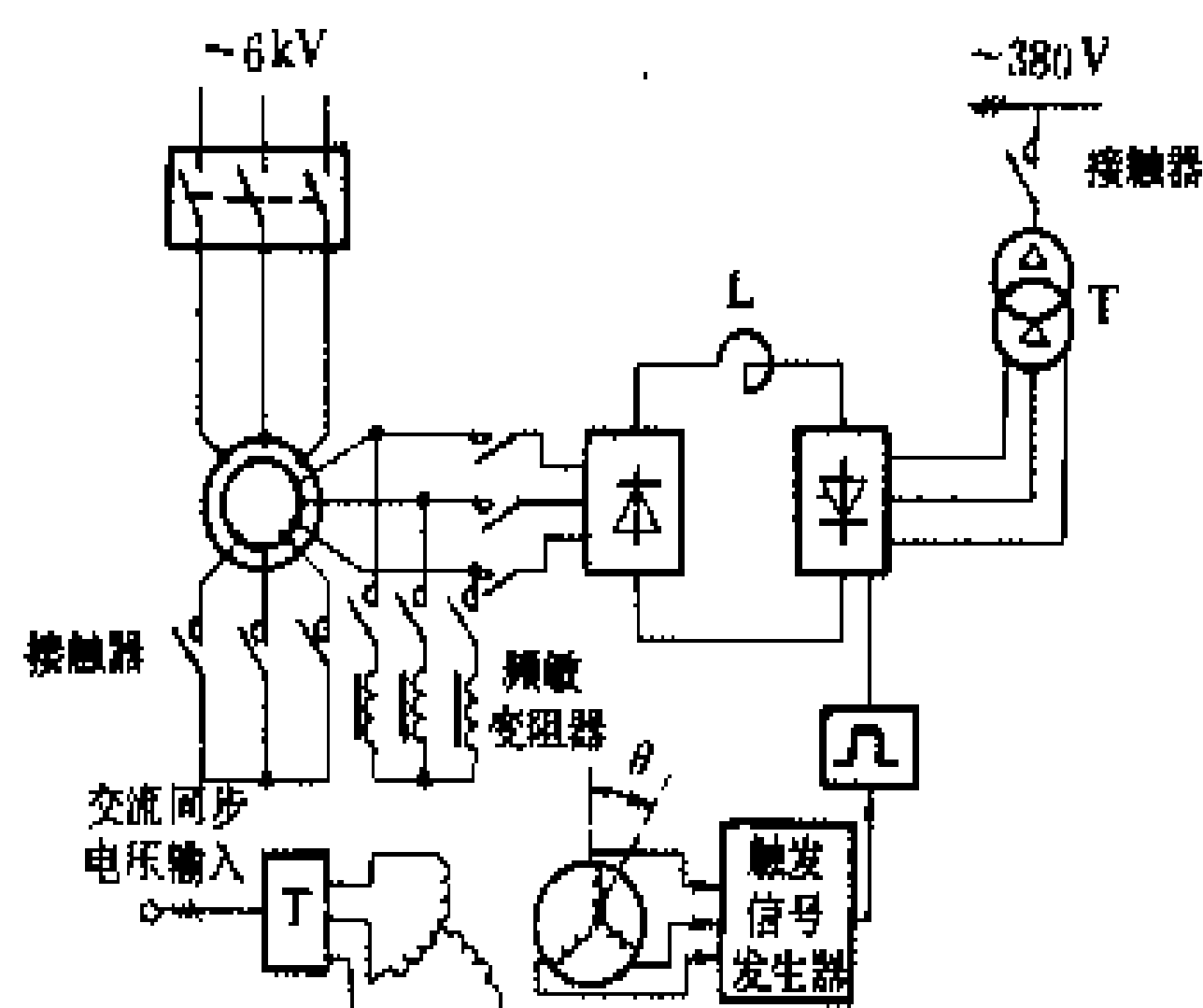


图2 开环控制的串级调速电控系统原理图

成的移相器进行。由于所要求的调速比一般不大于2:1,故串级调速所采用的晶闸管串级装置的容量一般为电动机功率的30%~50%。

图3为TOSVERT-130G1变频调速电控系统原理图,图中包括主电路、各种保护配置、调速控制环

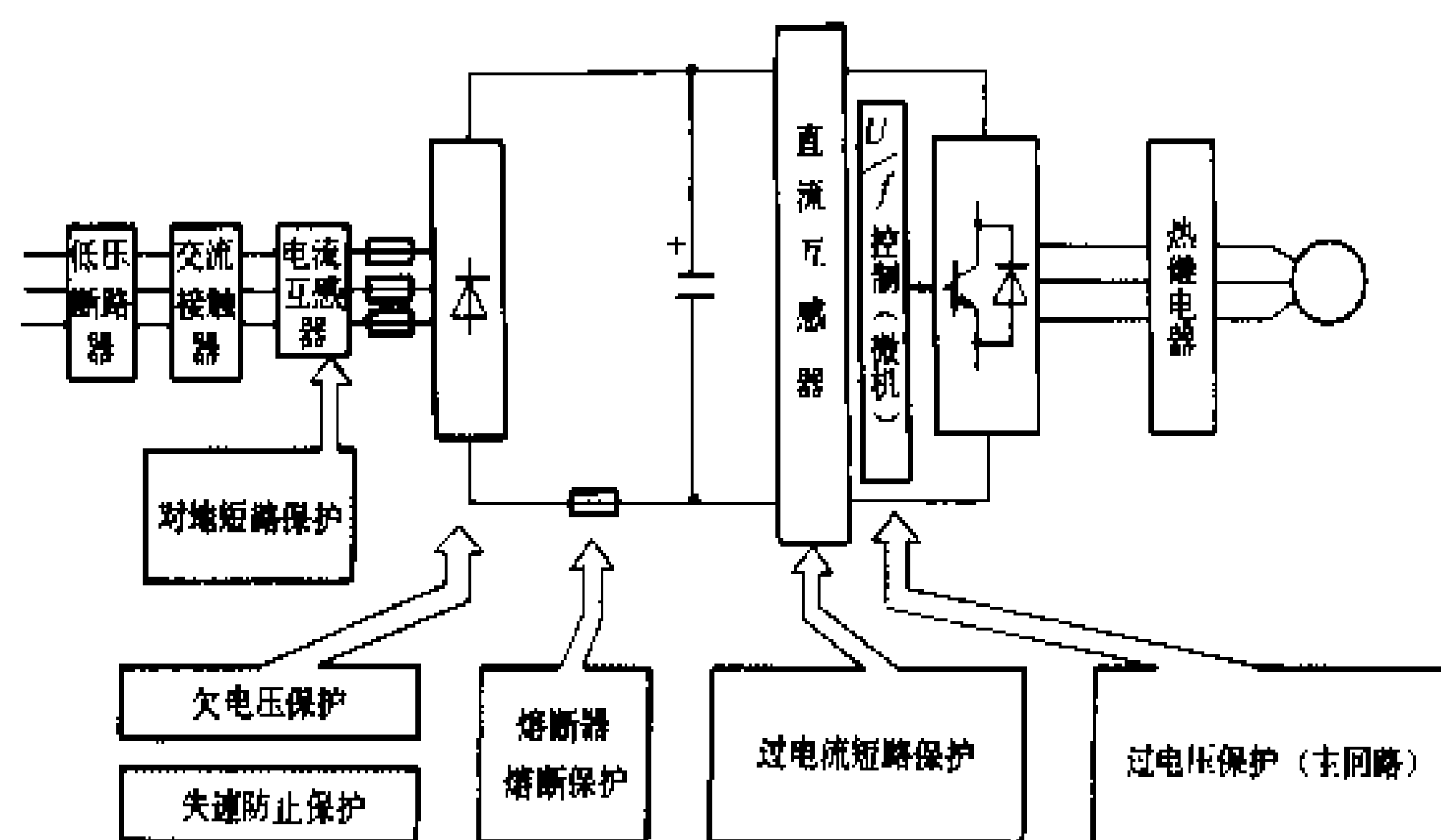


图3 TOSVERT-130G1变频调速电控系统原理图

节。该系统采用大功率晶体管组成的PWM型逆变器和微处理机编程的正弦波PWM控制,电压和频率同时在逆变器侧加以控制,电流输出波形近似为正弦波。变频调速电控系统除上述PWM型外,还有电压和频率独立控制的交流-直流-交流电压型和交流-直流-交流电流型变频系统。

(施传立)

fengji jiedian jishu

风机节电技术 (fan's technology saving electricity) 使风机效率提高、降低消耗电能的措施与方法。风机是输送流体的机械之一,种类繁多。按工作原理,可将风机分为离心式与轴流式两类;按结构可将风机分为往复式与回转式两类;按产生的压力可将风机分为低压、中压、高压风机三类。风机是一种通用机械、应用很广,耗电量很大。如发电厂

锅炉使用的送风机与引风机的耗电量,约占发电量的2%~3.5%。

风机的耗电量与风量、风压,风压与风量调节装置的效率及使用时间的长短等有关。风机耗电量W的计算公式为

$$W = \frac{QHt}{3.6n_1n_2} \times 10^{-6}, \text{ kW} \cdot \text{h}$$

式中Q为风机风量, m³/h; H为风机全风压, Pa; t为风机使用时间, h; n₁为风机的转速, r/min; n₂为风机调节装置的速度, r/min。

降低风机耗电量的措施有:合理选配风机,采用高效风机,改造风机,风机调速运行等。

合理选配风机 选择风机时,其风量与风压应满足生产工艺的需要。若风机参数选配不当,风量或风压偏低,否则不能满足生产工艺的要求,会引起产品产量或质量下降;风量或风压裕量过大,又需用调节装置来调节,则将导致风机效率下降,造成电量的浪费。因此,

选配适合生产工艺需要的风机参数,是保证节约用电的基本环节。

风量在较大范围变动或对供风系统可靠性有较高要求的场合,为了降低电能消耗又能满足需要,可选配两台及以上特性相同的风机并列运行,并配以节能型的调节装置。这样,当负载变化时,先用停开风机台数作为风量的粗调,再用调节装置进行细调,使风机始终保持在高效区运行。

选择风机型号时,在满足风量、风压等要求的前提下,尽量选用高效风机。在某些专用场合,可选用专用

的高效风机。

风机调速运行 在风机其他条件不变的前提下,

风机的风量与它的转速的一次方成正比,即 $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}$;

风机的风压与转速的平方成正比,即 $\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$;

风机消耗的功率与转速的三次方成正比,即 $\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$ 。

因此,用改变电动机转速的方法来调节风机的风量和风压,是一种节电效果好的调速方法。具体选用哪种调速方法可参见交流电动机调速。

风机的改造 有以下几点。

(1) 改变风机叶片长度。风机叶轮外径的变化,可以使风机的风量、风压和轴功率改变。若D₁、D₂分别为改变前后的叶轮外径,按一般经济估计,它们的相互关系如下:



$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2} \cdot \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \cdot \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^3$$

当风机风量、风压的裕度过大，若采用调节装置既要增加投资，又要增加节流损失，此时可将叶片切割一段，以此来调节风量与风压。当风机风量、风压不足时，在电动机与机械强度允许的条件下，可采取加长叶片和增加叶轮外径来提高风机的风量与风压。是否加长叶片，需同更换风机的效果相比较后确定。风机叶片长度切割或接长都不宜过大，以免使风机效率明显下降。

(2) 改变风机叶片的材质，如用玻璃钢叶片取代钢质叶片。

(3) 减少风道阻力，如将多余的挡板取消，方型弯头改为圆型转角，清扫风道积灰，堵塞风道漏风，选择节能型风门等。

(4) 增加调速装置。

(蒋凤铎 徐纪法)

fuhe kaiguan

负荷开关 (switch - fuse) 由一个极或几个极的刀开关与熔断器串联构成一个组合单元，能带负荷接通、承载和分断规定电流的一种手动开关电器。负荷开关常用作 10 kV 及以下电压等级的电气照明线路、电热器线路和分支电路的配电开关，适用于不频繁地手动操作。因它带有熔断器，所以可起过电流保护的作用。负荷开关按结构分为开启式和封闭式。无封闭外壳的结构即为开启式。

常见的胶盖瓷底闸刀开关是一种开启式负荷开关，它有一塑料盖，罩着触刀和熔丝，能起阻挡电弧飞出的作用。开启式负荷开关分断电流的能力不高，使用上也不甚安全。

封闭式负荷开关有一用钢板做成的封闭外壳，触头、熔断器、机构等都装在外壳内部，外壳外部无带电裸露部分，使用上比较安全。早期封闭式负荷开关产品的外壳是用铸铁制成，所以又称为铁壳开关。封闭式负荷开关的操作机构采用杠杆传动和弹簧储能结构，使触头接通及分断速度与操作手柄的操作速度无关，这样就提高了开关的通断能力。机构的操作与防护门的位置相连锁，防护门在关闭后，手柄操作机构方能执行合闸，要打开防护门必须触头处于分断位置，既避免了操作人员被电弧灼伤的可能，又保证了更换熔丝等作业的安全。

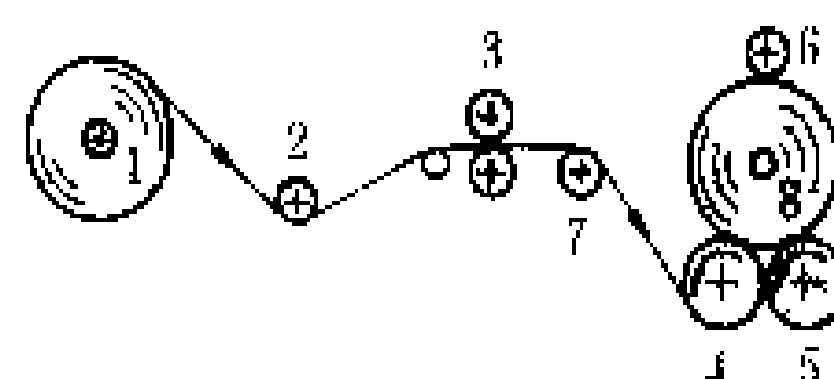
(方鸿发)

fujuanji diankong xitong

复卷机电控系统 (electric drive control sys-

tem for recoiler) 用以实现复卷机正常运转的

电力拖动和控制等电路组合的总体。复卷机是将造纸机所生产的原纸卷，经过定宽分切、整理、再复卷成里外紧度均匀合适的成品纸卷的机器。复卷机一般由退纸辊、引导辊、纵切装置、卷取底辊等构成，如图所示。各组成部分都由独立的电动机传动。



复卷机的构成示意图

(十号表示电动机的传动点)
1—退纸辊；2—引导辊；3—纵切圆刀；4—后底辊；5—前底辊；6—压纸辊；7—张力辊；8—卷取辊

在退纸辊上，通过引导辊到达纵切装置，几把纵切圆刀将纸分裁成所需的宽度，然后送到卷取辊进行复卷，达到规定长度后即停下来。再换上新的纸芯重复上述过程。复卷机电控系统主要用于在复卷过程中维持纸的张力恒定，使纸卷的紧度里外均匀。为提高纸卷质量，对于高速的复卷机除了控制纸的张力恒定外，还要控制压纸辊的压力和二底辊间的转矩差。

(1) 张力控制。纸的张力控制有多种方法，主要为电气控制。电气控制又分为间接张力控制和直接张力控制。间接张力控制即控制退纸辊电动机的制动功率，使之恒定。常见的控制方法是使电动机反电动势恒定和电枢电流恒定，也可以是使电动机的反电动势和电流可变但其二者乘积恒定。用间接张力控制在升速及降速期间要进行动态力矩的补偿，以获得较高的张力控制精度。直接张力控制是用张力计直接测量纸张的张力，构成张力闭环控制保持纸张的张力恒定。

(2) 压力控制。纸卷和底辊间的压力控制是通过控制压纸辊液压缸的压力来达到。随着纸卷直径逐步加大，逐步减少压纸辊液压缸压力，从而获得均匀压力。

(3) 转矩差控制。两个底辊间的转矩差应随着纸卷直径的加大作相应的变化，随着卷径的增大，前底辊转矩逐渐减小，后底辊转矩逐渐增大，从而得到较理想的成品纸卷。为达到此要求电控系统设有转矩差调节器。

复卷机的电控系统，一般采用晶闸管相位控制直流调速反并联可逆系统。该系统具有快速制动性能，可使复卷机的最高速度设计为对应纸卷机最高速度的 2~3 倍，具有最高速度 2%~3% 的引纸速度，以及平滑过渡的起动、制动特性。

(吴健雄)



ganshouqi

干手器 (electric hand dryer) 公共场所卫生间内,用作洗手后湿手吹干的电热清洁器具。按控制方式可分为手动式和自动式两种。干手器主要由壳体、电动机、风叶、电热元件和控制器件等组成。通过控制器件,使电动机和电热元件通电后,电动机带动风叶转动,吸入冷空气,经电热元件迅速加热后,从出风口送出热风,将湿手吹干。

手动控制干手器通过按钮或脚踏开关使其通电工作。这种干手器的控制机构简单,成本较低,但手动按钮容易产生交叉感染,不符合公共场所的卫生要求,现在已很少应用。脚踏开关虽无碍卫生,但使用不方便,也已基本不用。

自动控制干手器的控制机构可采用电子感应式、光电感应式或超声波反射式等结构,手接近出风口时,自动控制器件会自动使电机和电热元件通电,送出热风,将湿手吹干后,手离开出风口,干手器自动停止工作。自动控制干手器的控制机构较复杂,且成本也较高,但符合公共场所卫生要求,使用方便,公共场所卫生间主要应用这类干手器。

(刘有常)

ganyiji

干衣机 (clothes dryer) 利用电热自动干燥衣物的清洁器具(见家用电器)。干衣机的规格是按干燥容量(一次能干燥的最大干衣量,以 kg 计算)划分,家用干衣机的干燥容量一般在 6 kg 以内,电功率大约为 1~2 kW。将洗衣机和干衣机结合起来,制成全自动型洗衣干衣机,可以自动完成洗涤、漂洗、脱水、烘干全过程,但结构比较复杂。

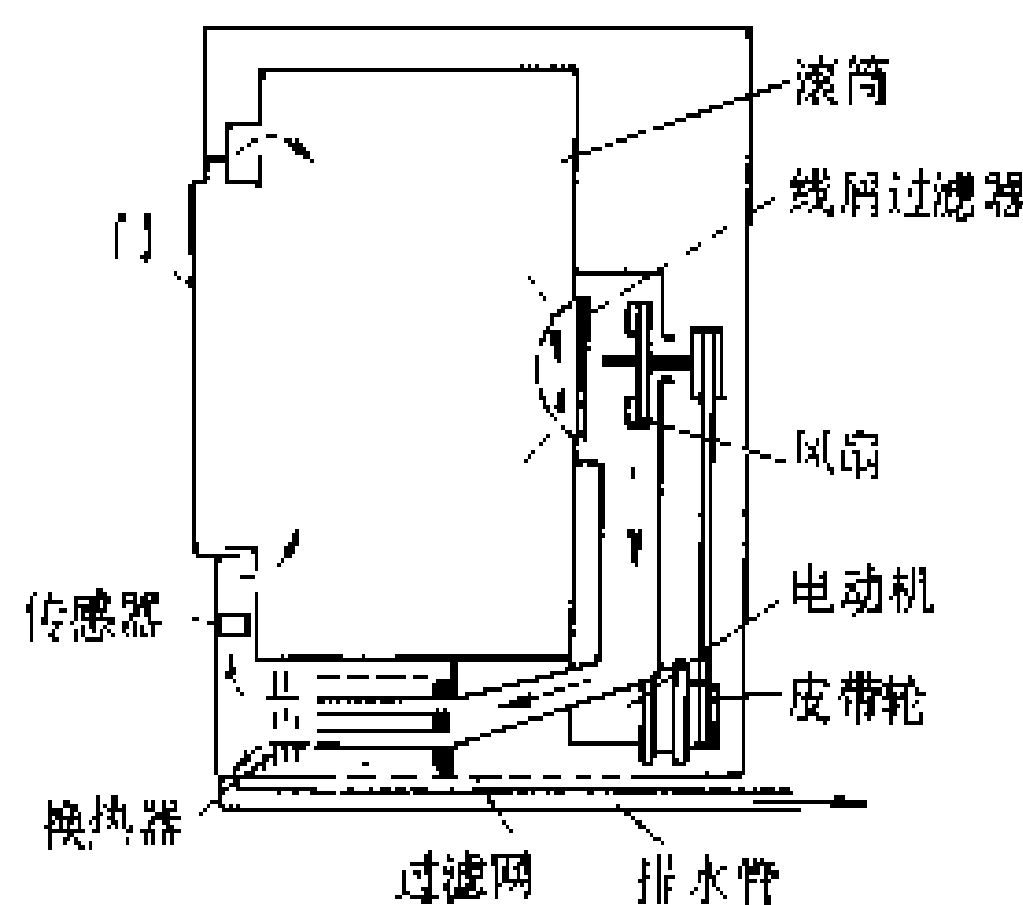
1930 年,美国 J. R. 穆尔研制成功电热干衣装置。1938 年,美国汉密尔顿制造公司按照穆尔的干衣装置设计制造的首批干衣机投放市场。1984 年世界干衣机的产量为 649.9 万台,其中美国产量最高为 364.8 万台,日本为 42.5 万台。

家用干衣机有三种分类方式:①按安装方式分为

落地式和吊挂式;②按水分的排除方式分为排气型和除湿型;③按结构型式分为滚筒式和柜式,以滚筒式居多。

排气型是将机内水分蒸发形成的高温高湿空气直接排往机外;除湿型是将机内水分蒸发形成的高温高湿空气,经过热交换器生成冷凝水后再排往机外,对环境没有影响,故较为流行。

除湿型滚筒式干衣机的结构一般由箱体、滚筒系统、传动和控制系统等几部分组成(见图),滚筒转速一般为 40~50 r/min。柜式干衣机是用衣架将衣物悬挂在烘箱中进行干燥。所使用的电热元件有普通电阻式和 PTC 元件(正温度系数热敏电阻),PTC 元件是发展方向。温度控制最简单的方法是用已流行多年的定时器,现在采用既精确又节能的由电子计算机和传感器结合的控制系统。该系统有三种不同的方式:①电阻传感器方式,利用滚筒内装设的一对电极来检测衣物的表面电阻,从而测定干燥状态。②湿度传感器方式,通过检测从滚筒出口排出的干衣用空气的相对湿度的变化进行控制。③温度传感器方式,通过检测从滚筒出口排出的干衣用空气的温度,或是在衣物翻滚时与衣物接触的温度水平进行控制。



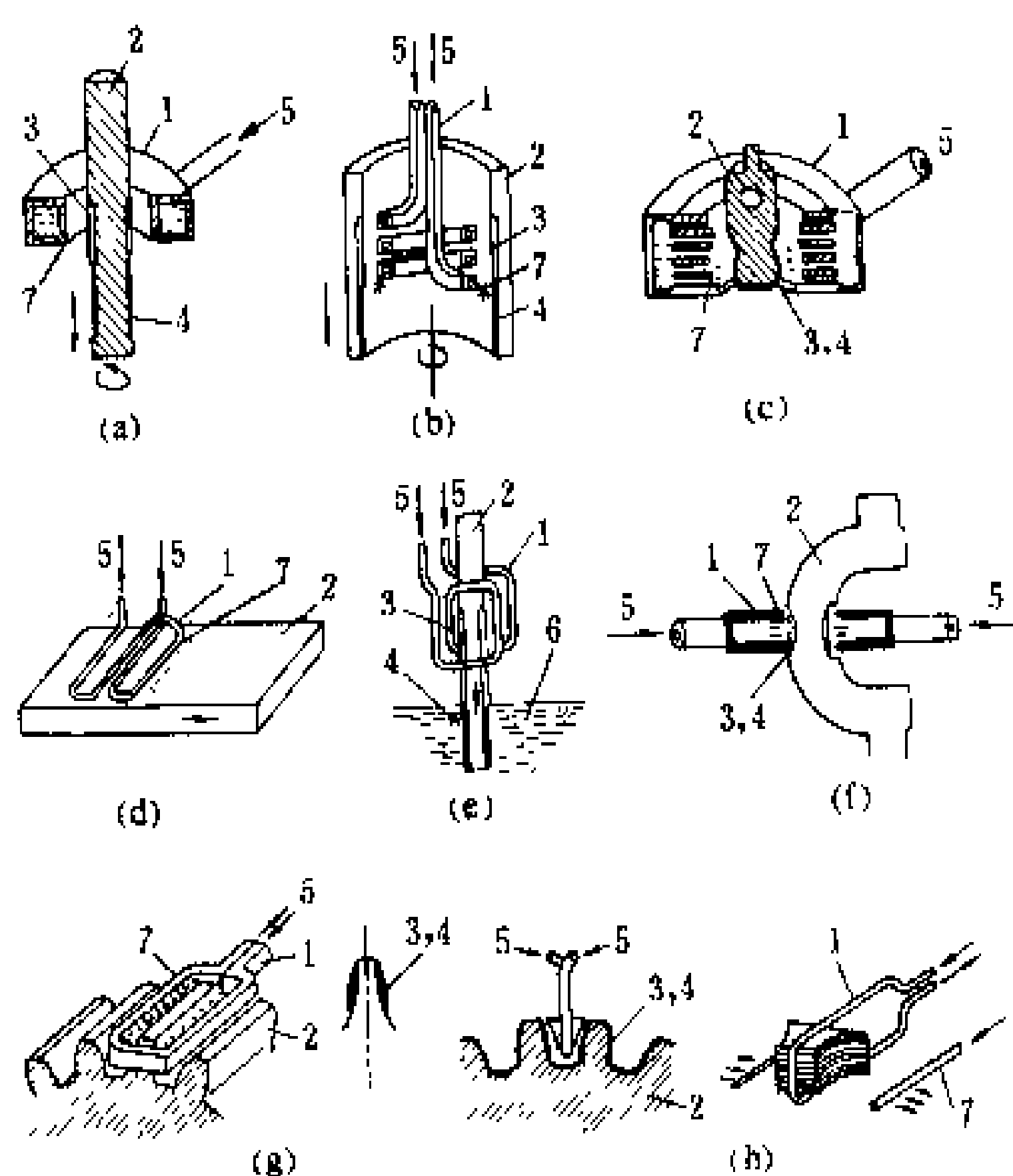
除湿型滚筒式干衣机示意图

(陈祖勋)

ganying cuihuo shebei

感应淬火设备 (induction hardening installation) 供机械零件表面淬火用的感应电热设备。利用交变电流的趋肤效应,采用感应加热的方法使钢质零件表面层受热并随后冷却淬火(如图所示),可以做到零件的表面有高的硬度和抗疲劳强度,而中心仍保持原有的韧性。很多种机械零件如齿轮、轴、销、曲轴等要求具有这种性能。感应淬火设备就用来进行这样的热处理加工。

与利用火焰加热的表面淬火比,感应淬火具有以下优点:①热量在工件自身产生,因此能耗小,热效率高;②加热和冷却快,工件变形少,氧化脱碳少,淬火后不需要再进行机械加工,可节省加工费用;③易于组



感应淬火示意图

- (a) 轴的淬火；(b) 套筒内壁的淬火；(c) 球头的淬火；
(d) 长板的淬火；(e) 锯条的淬火；(f) 曲轴的淬火；
(g)，(h) 齿轮的逐齿淬火
1—感应器；2—工件；3—加热层；4—淬火层；5—冷却水；
6—淬火油；7—冷却水喷射孔

织在生产线上，实现批量生产；④无废气，对环境污染少。缺点是：①要用一定频率加热，且感应器通用性差，设备适用面较窄；②电源会对无线电产生干扰，需加防护。

感应淬火设备广泛用于汽车、农机、建筑机械、机床、铁路车辆、电器等许多行业中。

感应淬火设备由电源、淬火机床和淬火控制设备等组成。电源可分为工频、中频或高频（见电炉变频电源），一般按工件的淬火深度要求选择，淬火层愈浅，电源频率应愈高，电源输出端配有二次电压可调的淬火变压器，用来降低电压以满足感应器的低电压输入要求。淬火机床主要由机身、感应器、工件夹持和传动机构等组成。感应器通常用裸铜管绕成，只有1匝或几匝，表面一般不做绝缘处理。感应器常兼作冷却水喷淋器，供工件加热后水淬。也有用油、盐水、合成淬火剂或流动空气等淬火的情况。

感应淬火设备可分通用设备和专用设备两大类。通用设备配备有许多可拆换的感应器，适用于多种工件的淬火，一般设在工厂的热处理车间。专用设备设置在生产线上。

感应淬火加热的理论计算很复杂。现场操作常利用现成的图表——淬火深度、电源频率、单位表面输入功率、加热时间的关系图或表，选择工作参数，并辅

必要的试验校正。

(汤景明 蒋聪吉)

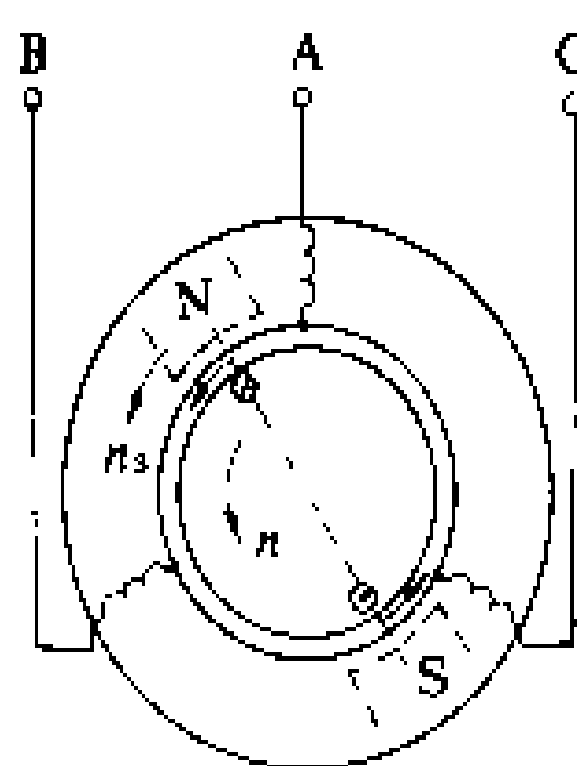
ganying diandongji

感应电动机 (induction motor) 定子绕组连接至交流电源，依靠电磁感应作用在转子内感应电流实现机电能量转换的电动机。感应电动机负载时的转速与所接电网频率之比不是恒定值，总是略小于同步转速 n ，故又称为异步电动机。按供电电源相数分为三相和单相感应电动机；按转子型式分为笼型感应电动机和绕线转子感应电动机。

感应电动机的主要优点是结构简单、制造容易、价格低廉、坚固耐用和运行可靠等，因此在国民经济的各行各业中得到广泛的应用。它的主要缺点是：功率因数较低，必须从电网吸收无功功率；调速特性较差，不能经济地实现范围较广的平滑调速。

结构 定子和转子铁芯都是由0.5 mm厚的硅钢片叠压而成。定子冲片内圆和转子冲片外圆都冲有一定形状的槽，用以分别嵌放定、转子绕组。定、转子间的气隙很小，中小型感应电动机一般为0.2~2 mm。

工作原理 当定子三相对称绕组接到三相交流电源时，流入定于绕组的三相对称电流就会在气隙内产生一系列的气隙旋转磁密。其中起主要作用的是以同步转速 $n_1 = 60f_1/p$ 顺着绕组相序旋转的基波气隙旋转磁密，如图所示。图示是一台两极异步电动机工作原理示意图。为便于理解，基波气隙旋转磁密用一对以 n_1 旋转的N、S磁极表示，转子绕组仅画出组成回路的一对导体。在图示瞬间，转子导体切割气隙旋转磁密而感应电动势，按右手定则，其方向如图中⊕（表示进纸面）和⊙（表示出纸面）所示。由于转子导体通过端环自行闭合，在转子绕组中将有电



感应电动机的工作
原理示意图

流流过。导体中的电流方向假设与感应电动势的方向相同，这时，转子载流导体与气隙旋转磁场相互作用，将会产生电磁转矩作用在转子上。按左手定则，电磁转矩的转向与气隙旋转磁密转向相同，如果这个电磁转矩能克服电动机的空载转矩和负载转矩，转子就能旋转起来，并加速旋转，直至电磁转矩等于负载转矩时，转子就以恒速 n 运行。正常运行时，感应电动机的转速总是稍低于同步转速。若转速达到同步转速 n_1 ，则转子导体和气隙旋转磁密之间就没有相对运动，转子导体中将不产生感应电动势和电流，电磁转矩将变为零，于是转子转速将自动下降，而在某一个低于 n_1 的转速



下运行。

同步转速 n_1 和电动机转子转速 n 之间的差值与同步转速 n_1 的比值叫做转差率，也叫转差或滑差，用 s 表示，即

$$s=\frac{n_1-n}{n_1}$$

s 是一个无单位的数，它的大小能反映电动机转子的转速。例如 $n=0$ 时， $s=1$ ； $n=n_1$ 时， $s=0$ 。

调速 已知感应电动机的转速为

$$n=n_1(1-s)=\frac{60f_1}{p}(1-s)$$

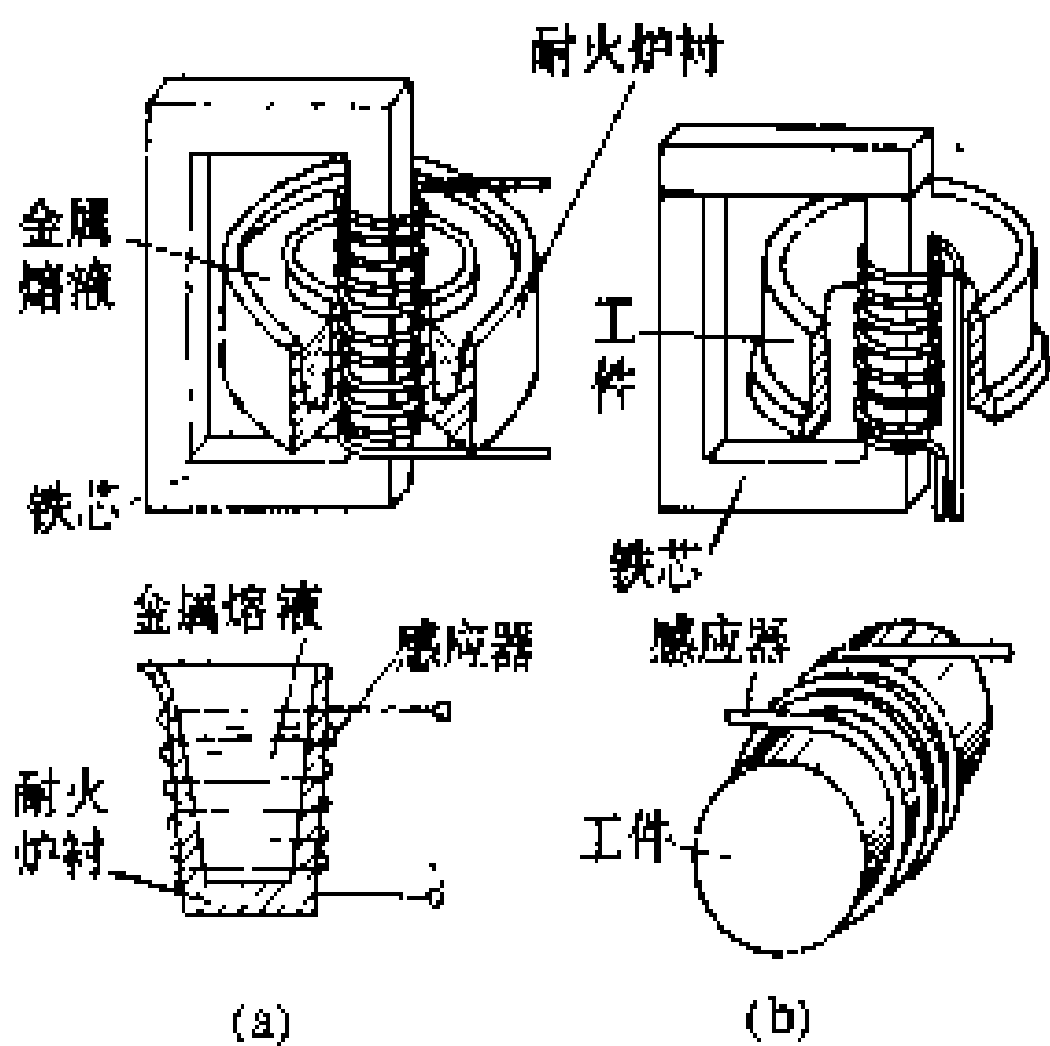
由上式可知，感应电动机的三种调速方法是改变转差率 s 、绕组极对数 p 和供电电源频率 f_1 。随着电力电子技术的进步和计算机控制技术的发展以及现代控制理论的应用，促使感应电动机调速技术迅速发展，在调速性能、可靠性及造价等方面，都能与直流电动机调速相媲美、相竞争。可以预料，交流调速系统将在更多的领域里取代直流调速系统。

(金放玫)

ganying jiare

感应加热 (induction heating) 利用感应电流产生的热能对物料进行电加热的方法。处于交变电磁场中的导体，其内部会产生感应电流。该电流流过导体的电阻而产生电阻热，从而使导体得到加热。与电阻加热不同的是，在电阻加热中导体中的电流是由于导体直接连接于电源而产生的，而在感应加热中，导体中的电流是由交变电磁场的电磁感应产生的。

原理 工业上应用的感应加热主要有图中所示的两种加热方式，图 (a) 是无心式，被加热物体置于感



感应加热示意图

(a) 无心式；(b) 有心式

应线圈内，当线圈通交流电时，在线圈的内部和周围产生交变磁场，线圈内的物体被交变磁场的磁力线所切

割，产生感应电动势 e ， $e=-d\phi/dt$ 。负号表明它起反抗磁场变化的作用， ϕ 为垂直穿过被加热物体的磁通量， t 为时间。在 e 的作用下，被加热物体内部产生感应电流，感应电流的强度取决于 e 和回路的阻抗，其方向与感应线圈中的电流方向相反，由于回路的阻抗值通常很小，故感应电流能达到很大值。产生的热量 $Q=I_f^2Rt$ ， I_f 为感应电流的有效值， A ； R 为感应电流回路的电阻， Ω ； t 为时间， s 。图 (b) 是有心式，如同一个单相变压器，感应线圈是一次绕组，被加热物体工件配置成二次闭合回路，套在铁芯上，线圈通交流电时，在被加热物体中感应产生电流使其加热，图 (a)、(b) 两种加热方式的原理是相同的。

感应加热时，在被加热物体上产生的感应电流表面最大，愈向中心愈小，此现象称为趋肤效应。若在表面处的电流强度为 I_0 ，沿深度方向某处的电流强度为 I_r ，在工程计算时规定 $I_r/I_0=1/e$ (e 为自然对数的底) 处的深度为电流透入深度。在这个深度层内产生的热量占总的热量 86.5%。当被加热物体的电阻率 ρ 和相对导磁率 μ 一定时，加热电流的频率 f 愈高则加热层愈薄。

单位加热功率 决定感应加热速度的最基本参数是单位加热功率 P_0 ， $P_0=\frac{W}{F}=k_0I_1^2\sqrt{\rho\mu f}$ 。式中 W 为被加热物体表面所得到的功率， kW ； F 为被加热物体的表面积， cm^2 ； k_0 为系数，由感应器和被加热物体的几何尺寸决定； ρ 为被加热物体的电阻率， $\Omega\cdot cm$ ； μ 为相对导磁率； f 为加热电流频率， Hz ； I_1 为感应器的电流， A ； $\sqrt{\rho\mu}$ 通常称为吸收因子，它反映材料在一定温度下对电磁能的吸收能力。在 I_1 和 $\sqrt{\rho\mu}$ 相同的条件下增加频率会使被加热物体吸取更多的功率。

频率的选择 根据物体的加热目的选择加热电源的频率。整个物体均匀加热时选用较低的频率，以便增大电流透入深度；用于某面淬火加热时，则采用较高频率。从高频加热的观点看，当被加热物体有最大的吸收功率时的电流频率应该是最佳的，这时感应线圈具有高的电效率。分析表明，对于直径为 $2a$ 的圆柱形被加热物体，当 $2a/\delta\approx 3.5$ 时吸收功率达到最大，降低频率使 $2a/\delta<3.5$ 并不能使有效加热层增加，而且吸收功率急剧下降，由此算出加热电流的频率下限 $f_{min}\approx 7.75\times 10^7\frac{\rho}{\mu a^2}$ ， Hz 。由于 ρ 值随温度升高而增大， μ 值在离子失磁点 (居里点) 温度时急剧下降为 1，所以随着被加热物体温度的升高 f_{min} 也应该增大，通常采用的加热电流频率为 f_{min} 的 3~5 倍。在实际应用中的电流频率只能从可供选择的电源频率中进行选择。在满足加热要求的条件下，最方便是选用工频，必要时才



选用中频或高频（见电炉变频电源）。

特点 感应加热一般具有以下特点：①热能可在被加热物料内部产生，加热速度快，热效率高；②易于实现对物料的表面加热和局部加热；③用于机械零件热处理，加热时间短，金属氧化少；④用于金属熔炼时，熔液可得到电磁力的搅拌，有利于金属温度和合金成分的均匀；⑤易于实现生产过程的自动控制。但感应加热设备投资较大，电效率较低，当使用中、高频加热时会产生对供电网和无线电通信的干扰，须加防治。

应用 感应加热的主要应用领域见表。其设备主要包括各种感应熔炼炉、感应透热设备、感应淬火设备、真空感应烧结炉等。

感应加热的主要应用领域

部 门	主要用途
冶 金	钢铁和有色金属及其合金的熔炼和保温；金属材料热处理；型材压力加工前的加热；管材生产的感应焊接（见高频焊）；以区域熔炼法或悬浮熔炼法熔炼并提纯半导体或金属材料（见单晶炉）
机械制造	机械零件铸造用钢铁材料和有色金属及其合金的熔炼和保温；机械零件的淬火加热，特别是表面淬火加热，及其后的回火、退火、正火等热处理加热；零件热压成型（如精锻、热轧等）前的透热；金属的钎焊和对焊；硬质合金熔焊；机械零件感应化学热处理；金属零件的热装配
轻 工 业	纤维生产中的各种间接感应加热；一些非金属材料热塑性成型用模具的加热
石油化工	化学反应釜等容器和输液管路等的加热
电子工业	电子管生产中真空处理时的加热
家 用	电磁灶

（汤景明 蒋聪吉）

ganyinglu

感应炉（induction furnace） 利用感应加热使物料加热的电炉。感应炉具有感应器和相应输出功率的频率电源。工作时，接在电源上的感应器产生交变电磁场，使处于感应器内部或临近的金属物料得到感应加热。

感应炉的类别和用途 感应炉分感应熔炼炉和感应加热设备两类。前者用于物料的熔炼或保温，炉料最终呈液态状；后者用于物料的加热，包括物料整体均匀加热、表面加热或局部加热。感应炉的分类和各类设备的用途见表1。

表 1 感应炉的类别和用途

类 别		用 途
感应熔炼炉	有心感应熔炼炉	铜、铝、锌等有色金属及其合金、铸铁的熔炼、保温，铁水和钢水的保温
	无心感应熔炼炉	钢、铸铁以及铜、铝、镁、锌等有色金属及其合金的熔炼和保温。其中矮线圈炉用于保温；铁坩埚炉用于低熔点合金熔炼；高频炉多用于贵金属熔炼；真空感应熔炼炉用于高温合金、磁性材料、电工合金、高强度钢、核燃料铀的熔炼
感应加热设备	感应透热设备	钢、铜、铝等金属材料在锻造、轧制、挤压前的加热；钢、铸铁等金属材料的退火、回火和正火；金属零件热装配
	感应淬火设备	机械零件的表面淬火（见感应淬火设备）
	感应烧结设备	粉末冶金坯件的烧结或加压成型，通常在真空中进行（见真空感应烧结炉）

设备组成 感应炉由电源、感应电热装置、补偿电容器、冷却系统、控制系统等组成。

电源有工频电源、三倍频电源、中频发电机、晶闸管中频电源、晶体管中高频电源、电子管高频电源等（见电炉变频电源）。各类感应炉适用的电源应根据加热要求按物料的材质、形状、尺寸等选择。

感应电热装置随电热设备分类而异，各类装置的差别可能很大，但都有感应器。由感应器和物料构成的电系统，其自然功率因数很低（见表2）。因此，感应器上应并联补偿电容器，把功率因数补偿到接近1，以减小电源和线路的无功负荷。

感应炉的主要电路由电源、感应器、补偿电容器等组成。由三相供电，但负荷是单相的工频感应炉，在主电路中要配备相间平衡装置。电容器是感应炉主电路的重要组成部分。特别对工频电炉和中频电炉，电容器费用要占成套电热设备费用很大比例。为此而专门设计制造的电容器叫电热电容器。中国电热电容器的频率范围为40~2400 Hz，电压为375~2000 V，额定容量为15~3300 kV·A。电源与感应器、电容器等之间的线路是电炉的重要组成部分，应妥为设计，以尽可能减小线路电阻和电抗（见短网）。

感应器受到自身的电阻热和来自炉料的传导热等的加热，因此感应炉都配有冷却系统。用铜管绕制的感应器用水冷却。中、小型设备一般用自来水；大型设备的感应器工作电压高需用软水甚至蒸馏水闭路循环冷却，同时也减少冷却水对铜管的腐蚀和避免因管壁结

水垢影响冷却效果。用扁铜带绕制的感应器则用强迫通风冷却。

控制系统用来调节感应器的输入功率、功率因数的补偿和三相的平衡，控制加热温度和加热时间等。

中、小型设备通常由人工控制或部分自动控制，大型设备有采用计算机过程控制的。

感应炉的热效率（所产生的热能与有效利用的热能之比）较高，为 0.7~0.95，但电效率低。各类设备

表 2 感应炉的自然功率因数和效率

类 别	被 加 热 物 料			
	钢、铸钢	黄 铜	铜和其他有色金属	铝和铝合金
有心熔炼炉	0.7~0.8/0.75~0.95	0.6~0.85/0.7~0.9	0.4~0.5/0.7~0.9	0.2~0.4/0.7~0.9
无心熔炼炉	0.05~0.4/0.6~0.7	0.15~0.2/0.5~0.6	0.12~0.18/0.4~0.5	0.12~0.2/0.45~0.55
感应透热设备	0.5~0.4/0.6~0.75	0.15~0.35/0.4~0.5	—/0.25~0.35	0.12~0.35/0.35~0.45
感应淬火设备	—/0.5~0.8	—	—	—

注：分子表示自然功率因数，分母表示效率。

的综合效率见表 2。

历史与发展 1887 年英国 S. Z. 弗兰蒂(Sebastian Ziani de Ferranti)在英国首先取得明沟式有心炉的专利，但未获实际应用。其后，瑞典和美国先后制成有实用价值的埋沟式有心炉，在黄铜、青铜等的生产中得到迅速推广。1918 年美国 F.F. 诺思拉普(F. F. Northrup)制成了用电火花高频电源的高频熔炼炉。在此基础上，随着电子管高频电源和旋转变频机的问世和发展，在 20 世纪 30 年代，中、高频感应熔炼炉和感应淬火设备相继得到工业应用。1923 年德国开始用真空感应炉熔炼金属。第二次大战中，感应透热设备开始用于炮弹生产。第二次世界大战后，工频无心感应炉问世，50 年代起在铸造行业得到迅速推广。1958 年加拿大 P. 伯林格(P. Biringer)发明了三倍频器，在中频加热方面得到小范围应用。感应炉其后的发展与高转换效率的晶闸管、晶体管，中、高频电源的发展紧密地联系在一起。1966 年以后晶闸管中频电源开始应用于感应炉中，在很大程度上代替了旋转变频机。从此，中频感应炉得到迅速发展，并代替了部分工频设备。70 年代起电力晶体管和静电感应晶体管中、高频电源开始分别用到 1~50 kHz 和 50~400 kHz 频段的中、高频感应炉中，扩大了感应加热在这些频段内的应用，预计今后将在很大程度上代替电子管高频电源。随着电源和控制技术的提高，感应炉的应用也将进一步推广。

中国于 50 年代开始生产中、高频感应炉。早期用旋转变频机和电子管高频电源作为电源，中频炉最大容量到 430 kg。60 年代制成容量 10~500 kg 中频真空感应熔炼炉。70 年代制成 10~20 t 工频无心炉、12 t 有心炉和许多中、高频透热和淬火设备。70 年代后期开始采用晶闸管中频电源，使中频感应炉在许多企业中得到推广。80 年代制成 30 t 和 45 t 有心铸铁保温炉、真空半连续浇铸炉等。静电感应晶体管中、高

频电源尚在开发中。

(汤景明 蒋聪吉)

ganyingqi

感应器 (inductor) 感应炉的产热部件。它是由感应线圈及其附件构成，接上电源后产生交变磁场，使其内部或邻近的导体(被加热物料)因产生感应电流而得到加热。

感应器的形式很多，用于金属熔炼、保温和圆锭透热的感应器多为圆柱形和扁圆形(见图 1)，方锭板坯、棒材端部等透热用的感应器呈方形或矩形，感应淬火用感应器通常只有 1 匝或几匝，形状按照工件淬火需要设计。(见感应淬火设备，高频焊条)

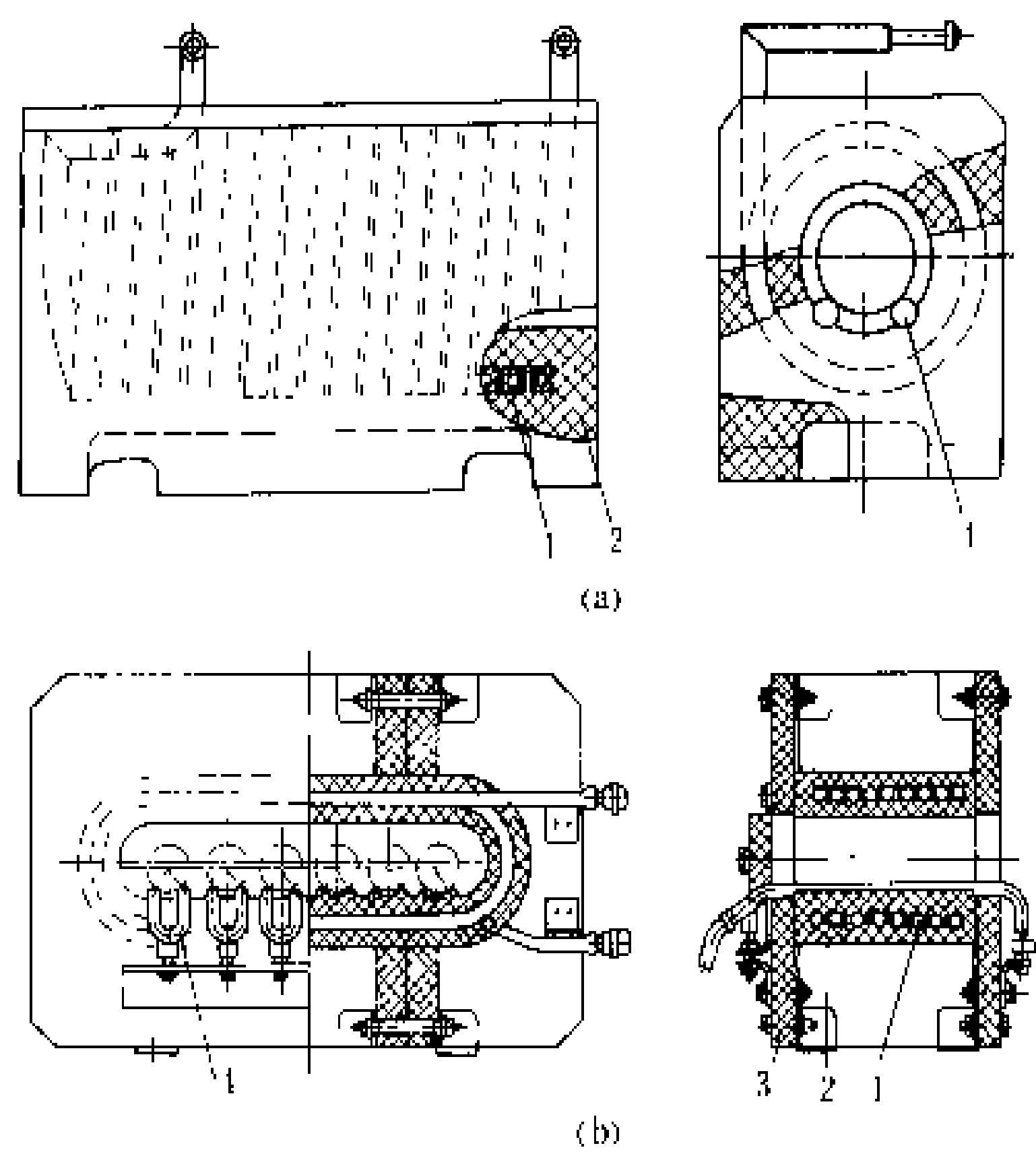


图 1 两种加热用感应器简图

(a)圆柱形感应器；(b)扁圆形感应器(棒材端部加热用)
1—感应线圈；2—耐火材料；3—硬质石棉板；4—水冷导轨



结构 感应器由感应线圈、绝缘件、紧固件等构成。感应线圈用铜材（铜管或铜线）绕制，铜材的截面形状（见图 2）和尺寸的选择决定于电源频率和感应器

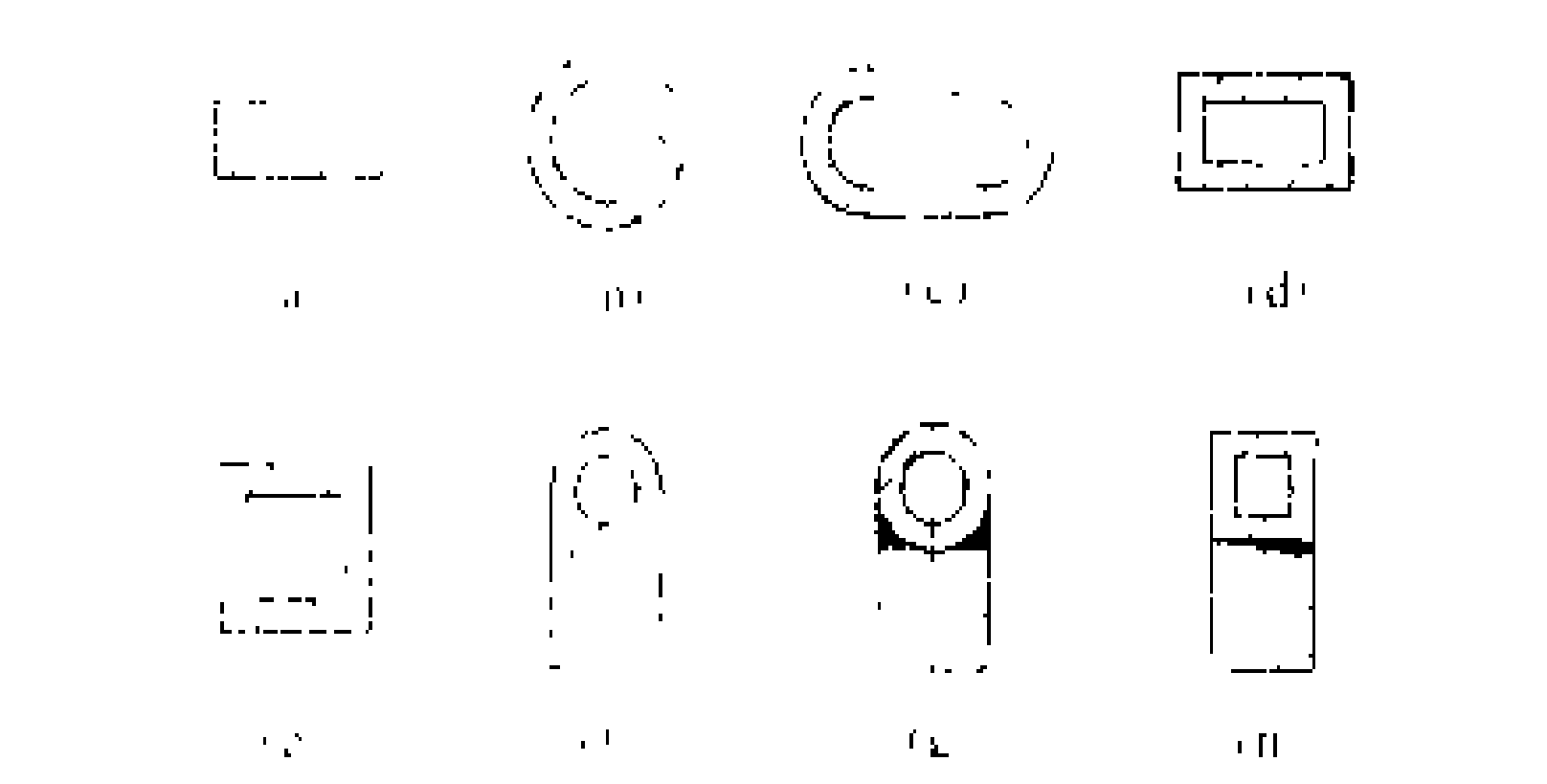


图 2 感应线圈用铜材截面
(a)扁带；(b)圆管；(c)扁圆管；(d)矩形管；(e)方管；(f)偏
心管；(g)，(h)焊接偏心管

机械强度等因素。当用于工频时，铜的电流透入深度约 10 mm，并且由于圆环效应（趋肤效应的一种表现形式），使用时电流集中在感应器内侧，因此感应线圈用扁铜线或异型铜管绕制，其导电部分宽度在约 10～20 mm 范围内。当用于中、高频时，电流透入深度要小得多，但考虑线圈的机械强度，仍用壁厚约 1～6 mm 的铜管绕制。一个感应器通常只有一个感应线圈，工作时接于电源的单相输出端上，但也有两个甚至三个感应线圈的感应器，分别接在电源的两相或三相输出端上。感应线圈的线匝在直径方向通常只有一层，但用于工频有心炉的也有双层或多层。为便于调节输入功率，有些感应线圈设有抽头。为了避免工作中感应线圈和整个感应器因电磁力而松动，除小功率者外，感应线圈的各线匝要用绝缘件和紧固件固定，并配用端圈、垫块等使整个感应器平整坚固。除用于中、高频炉和感应淬火设备的感应器外，其外表通常要经绝缘处理，以避免使用时匝间飞弧或短路。处理方法一般是：用绝缘带包扎铜管或铜线；在匝间垫以绝缘块（必要时）；在感应器组装后进行整体绝缘漆浸渍等。有心感应炉的感应器有时在内部用绝缘筒作为骨架。对某些感应器，如用于真空感应炉的，有时在线匝间用能固化的绝缘膏填充，并对它进行整体包扎和涂覆。有的感应器外表面还涂以耐热、防潮等涂料。为了带走由于感应器本身电阻所产生的电阻热和来自被加热物料的传导热，感应器在工作时都需要冷却。用铜管的，在管中通水冷却；同铜线的则采用强迫风冷。对水冷感应器，为了加强冷却，有时把一个感应线圈的水路分成互相并联的几段，以增加冷却水流量。

参数 主要参数有：感应器的几何尺寸和线圈匝数，被加热物料系统的输入功率、电流、电压、功率因

数等。设计感应器时，这些参数可根据已知条件计算求得。但由于计算中常作某些假定，如把物料的电阻率和相对导磁率看作是常量等，因此计算结果与实际常有偏差，计算方法应根据实际经验加以修正。对淬火用感应器，由于理论计算比较复杂，常根据经验设计，而用调节感应器的电压以满足加热要求。

（李宝璋 蒋聪吉）

ganying ronghianlu

感应熔炼炉（induction melting furnace）

供金属材料熔炼或用于液态金属保温的感应炉。

感应熔炼炉和电弧炉是两大类熔炼用电炉。大体上，电弧炉用于把杂质较多的原料，通过炉渣或还原剂等与原料的冶金反应炼制出各种钢、铁合金等，而感应熔炼炉熔炼时造渣去除杂质的能力不如电弧炉，但其温度和功率则容易调节，适用于把杂质少的金属原料（精料）熔炼成优质合金钢、优质铸铁、高温合金、电工合金等。感应熔炼炉还特别适合于熔炼有色金属及其合金，如铜及铜合金，铝及铝合金，以及锌等。在铸造生产中感应炉还适合于用作混铁保温炉。最近也有在铁合金生产中使用感应炉。

感应熔炼炉分有心感应熔炼炉（又叫沟槽式感应熔炼炉）和无心感应熔炼炉两类。前者适用于单品种大批量金属炉料的熔炼或保温；后者不受炉料品种和批量的限制。

感应熔炼炉的规格大小由其炉料容量吨或公斤表示。有心感应熔炼炉由于熔炼后不允许把炉料全部倒完，一般要标出总容量和有效容量。

有心感应熔炼炉 简称有心炉。所以叫“有心”，是因为这种电炉具有由硅钢片叠成的磁路闭合的铁芯。有心炉的炉体由炉壳、炉衬、炉盖、炉室、熔沟、感应器、铁芯等部分组成。由耐火材料筑成的炉室和熔沟相互连通。类似于变压器，感应器是铁芯的一次绕组，而环绕铁芯柱的熔沟中的金属熔液则为二次绕组。当对感应器送电时，熔沟中的金属熔液会因感应电流产生热，并通过对流和传导把热传给炉室内的金属。

有心炉用工频电源，通常通过电炉变压器向感应器供电。

有心炉熔沟的布置型式有许多种：图 1（a）熔沟呈立式布置，图 1（b）熔沟呈卧式布置；图 1（c）熔沟呈倾斜布置。有心炉的铁芯、感应器、熔沟及其外壳常做成一个可拆换的部件，叫感应体。这样既便于把感应体作为通用件而加以系列化，使少数几种感应体能组装成许多不同容量不同加热要求的炉子，也便于炉子的使用和维护。图 1（c）所示滚桶式炉的感应

体,当损坏时,只须把炉体转过一个角度,使熔沟中的金属料流回炉室,就可更换。为了避免熔沟内金属料过热,加快热能向炉室的传递,现代有心炉常做成使熔沟内熔液能单方向流动的结构。常用的措施是把熔沟各处截面的形状和尺寸做得不等,利用各处电磁力的不同产生驱使熔液流动的力;也有用外加磁场等方法的。

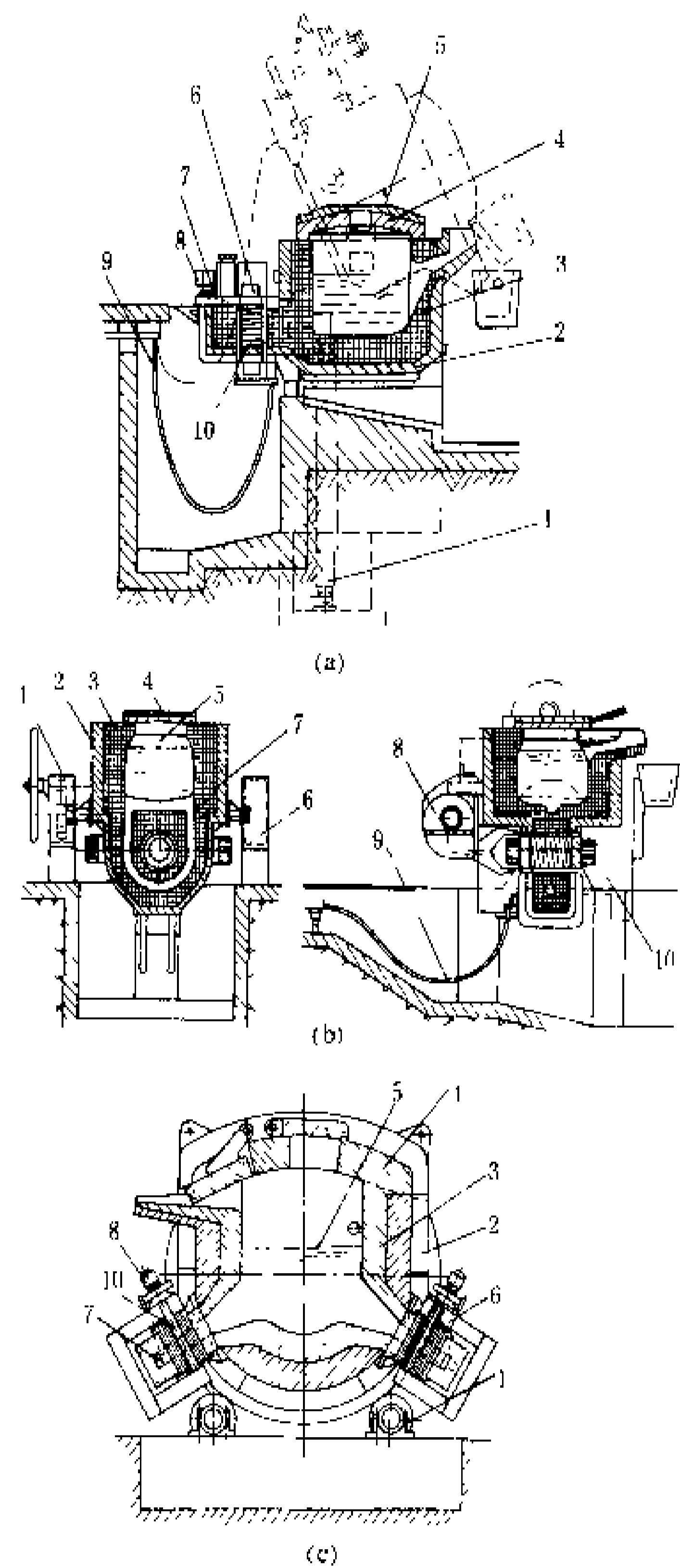


图1 几种有心感应熔炼炉的结构

(a) 熔沟呈立式布置; (b) 熔沟呈卧式布置; (c) 熔沟呈倾斜布置

1—倾炉机构; 2—炉壳; 3—炉衬; 4—炉盖; 5—炉室; 6—铁芯; 7—熔沟; 8—冷却风扇; 9—电缆; 10—感应线圈

熔沟耐火材料不但要承受熔融金属的高温,而且受到因电磁搅拌引起的金属液流的冲刷,工作条件十分恶劣,所以熔沟形状的设计、耐火材料的选择和熔沟的制作都必须仔细慎重。

有心炉炉体有固定式和倾转式两类。其中小型

的,如小型熔铝炉,可人工用勺出料;大型的,如冶金工业用熔铝、熔锌炉则从出料口出料。倾转式炉用炉体倾转出料,如图1(a)、(b)所示。大型炉通常做成滚桶式,如图1(c)所示。专门供金属熔液定量浇铸用的有心炉多数是固定式的,另配有塞杆式、气压式或电磁泵式等的定量浇铸机构,如图2所示。

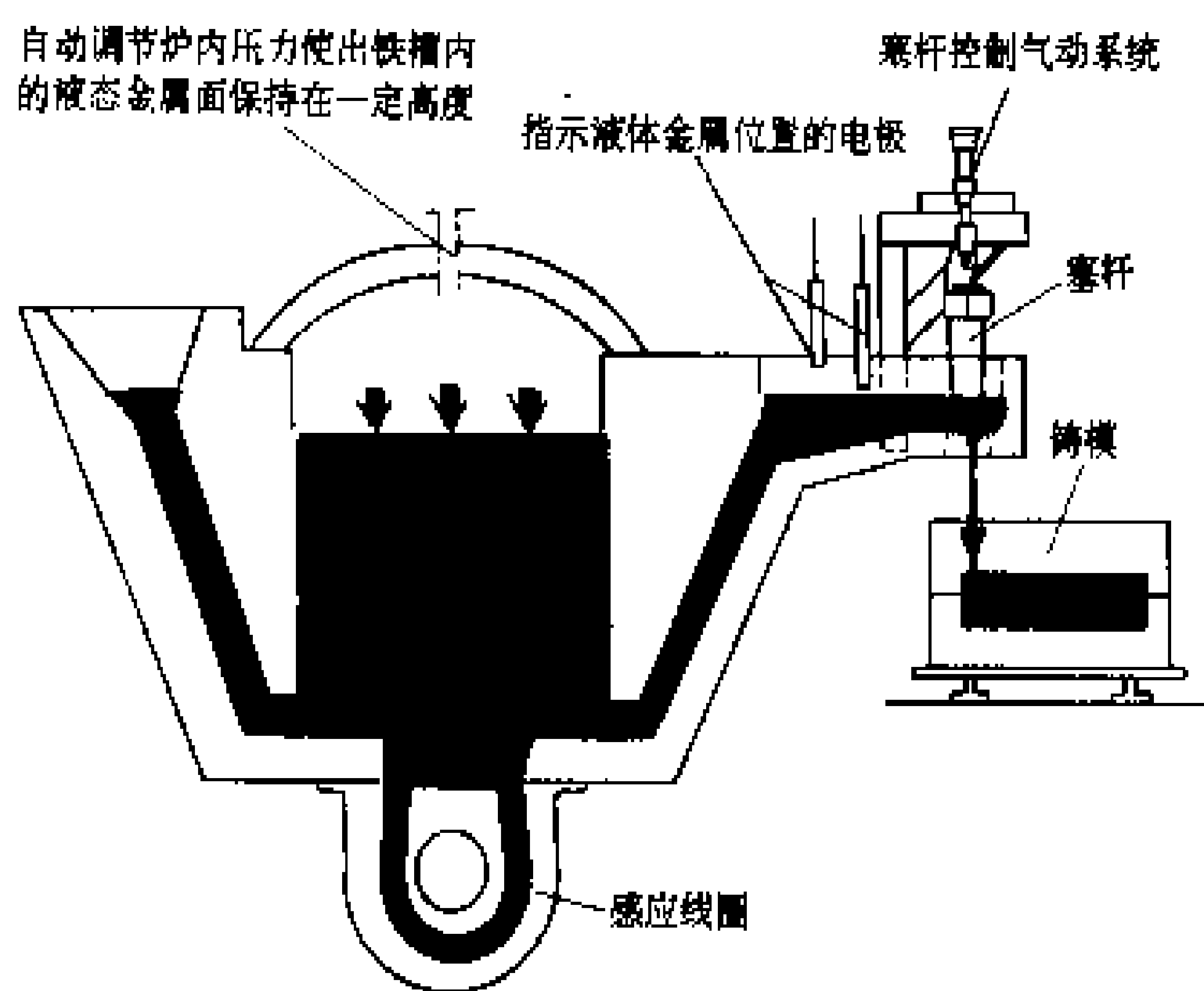


图2 炉体固定式气压定量浇铸的有心炉

与无心感应熔炼炉比,有心炉的优点是:①功率因数高;②效率高;③电源设备投资小。缺点是:①启用前熔沟内要先加入液态料,出料时炉内液态料不能倒完;②停炉时要继续通电保温以防熔沟内液态料凝固;③熔沟内温度高,耐火材料易蚀损;④生产率较低等。

有心炉主要用于铜、铝、锌等熔点较低的金属及其合金的熔炼和保温,以及用于铁水、钢水的保温,有时也用于铸铁的熔炼,在有色金属工业和铸造生产中起重要作用。并已用到连续铸钢生产中。

无心感应熔炼炉 简称无心炉。相对于有心炉,在无心炉中设有磁路闭合的铁芯,感应器直接围在金属熔池四周。与有心炉比,无心炉在熔炼结束后可以把液态炉料全部倒完,因此适宜于多品种小批量金属料的熔炼;炉子的输入功率可以配置得比同容量有心炉的大得多,因此有高得多的生产率。无心炉的种类很多,各类概况见表(表内名称是习惯上的简称)。表中除最后的卧式无心炉之外都是立式的。立式炉中具有坩埚的无心炉,国际上又叫坩埚式感应熔炼炉。

炉子视其容量和熔炼要求配用工频、中频或高频电源(见电炉变频电源)。工业上主要用工频炉和中频炉。工频炉有电源设备简单,适宜于大容量等优点,但最小容量不宜小于750 kg(否则效率太低),冷炉启熔时料块直径要在200 mm以上,每炼完一炉后不宜把炉料全部倒完,设备投资中电容器费用所占比例大等缺点。中频炉在这些方面比工频炉好,且有较高



的单位输入功率，其生产率可比同容量的工频炉高50%以上。

容量相同的工频炉常按其额定功率再细分为两个

或三个规格：配大功率者主要用于冷料熔炼，小功率者用于液态料保温。中频炉有时也是这样。

无心炉的结构型式如图3所示，感应器位于坩埚

无心感应熔炼炉概况表

名 称	炉衬材料	电源类别	容量范围(t)	工作温度(℃)	主要用途
工 频 炉	耐火材料	工 频	0.75~65	900~1600	铸铁、合金钢、有色金属合金的熔炼和保温
中 频 炉		中 频	0.05~20		贵金属的熔炼
高 频 炉		高 频	~0.05		
矮线圈炉	耐火材料	工 频	5~50	600~1550	铸铁和有色金属合金保温
铁坩埚炉	铸铁或碳钢 (背衬绝热材料)	工 频	0.1~1	400~800	铝、锌、镁等低熔点有色金属和合金的熔炼
真空感应熔炼炉	耐火材料	多为中频	0.01~54	1200~1700	高温合金、高强度钢、磁性材料、电工合金、铀等的熔炼和浇铸
凝壳式感应炉	铜(做成特殊型式的水冷坩埚)	中 频	0.03~3	~2600	钛合金的熔炼和浇铸(也可用于其他活泼金属和难熔金属)
悬浮式感应炉	(无炉衬)	多为高频	(小容量)	(按需要)	实验室中供制取高纯金属和合金
卧式无心感应炉	耐火材料	工 频	10~90	1400~1550	铸铁熔炼和保温

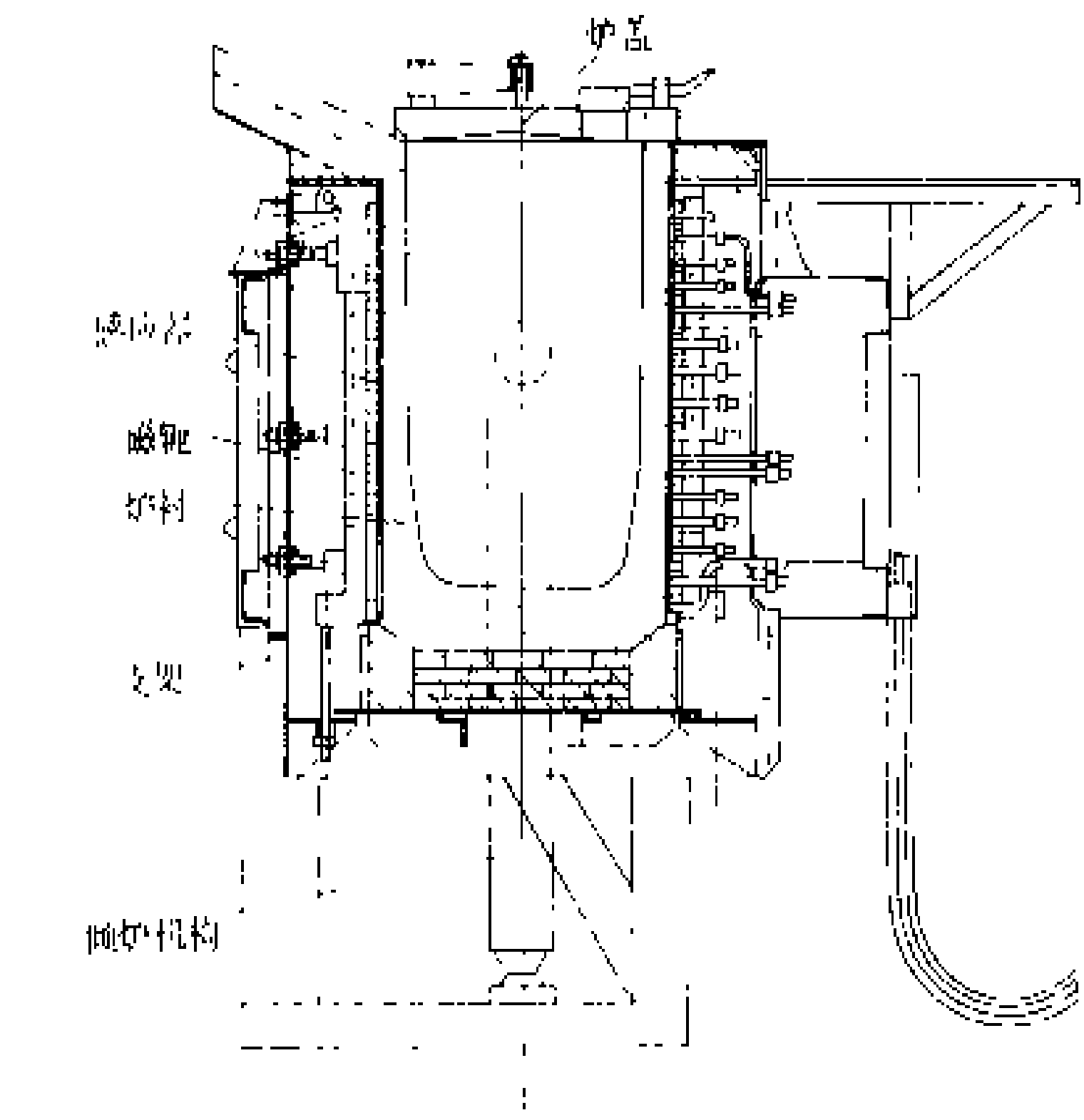


图3 耐火材料坩埚无心感应熔炼炉的炉体之外。工频炉感应器外面有用硅钢片叠成的长条形导磁体，均匀地分布在感应器四周，用以约束感应器漏磁通的扩散，防止周围金属件过热，并提高炉子的电效率和功率因数。导磁体与感应器、炉架构成为一个结实的整体，以防炉架等因电磁力而松动。部分中频炉也配有这样的导磁体。倾动机构能使炉体作约90°的回转，以便于出料（参见彩图插页第9页30图）。

坩埚通常是用颗粒状耐火材料在炉内捣打烧结而成的，小型炉也有用预制成型的坩埚。耐火材料有酸性、碱性和中性，按熔炼要求选择。

其他无心炉 有以下几种。

矮线圈炉：工频炉的一种特殊型式，感应器布置在坩埚的下部，其高度只是金属熔池高度的0.2~0.25（普通工频炉约0.7），且熔池高度与直径之比不超过1（普通工频炉约1.5）。作为铁水保温炉，与有心炉比，有铁水温差小、成分均匀、除渣方便，适用于间歇作业等优点，但其功率因数和电效率都较低。

铁坩埚炉：工频炉的另一种特殊型式，坩埚用铸铁或钢制成（外面衬以绝热层）。与耐火材料坩埚工频炉比，其电效率和功率因数都较高，但工作温度低，只用于低熔点金属的熔炼，且要采取措施防止熔炼中坩埚材料熔进被熔金属中。

真空感应熔炼炉：多数用耐火材料坩埚，坩埚位于真空炉壳内部。炉子配用真空机组抽气，工作真空度视熔炼需要为 $10^4\sim10^{-4}$ Pa。一般配中频电源。炉体除炉壳、感应器、供电装置、倾炉机构、水冷系统外，常附设有观察、测温、加料、取样、捣料等装置。这种电炉可分为间歇作业式和半连续作业式两种。前者每炼完一炉要打开一次炉盖；后者分几个炉室，一次熔炼浇铸完后，把锭模移到锭模室并关闭锭模室与熔炼室间的闸门后，不破坏熔炼室真空就可进行第二炉熔炼。

凝壳式感应炉：一种特殊型式的真空感应熔炼炉，其坩埚是水冷铜坩埚，区别于真空电弧炉和电渣重熔炉所用的双层筒形水冷铜坩埚。这种炉子的铜坩埚既能通水冷却，又必须尽可能减小在坩埚壁中产生的感应电流，以免进入坩埚内的磁场减弱。工作时，坩埚

内表面会凝结上一层被熔金属的壳体。这种炉子用于活泼金属的熔化和浇铸。

悬浮式感应炉：一种小型实验室用炉，多数用高频电源供电。感应器用裸铜管绕成漏斗形，下小上大。感应器内设有坩埚。工作时位于感应器内部空间的金属炉料因受电磁力的支托会悬浮在空中，同时得到熔炼，因而不会有接触污染。

卧式无心感应炉：普通工频炉的变形，炉体是卧式的，有一个加料口和一个出料口，感应器水平布置，炉子不倾动。与普通立式工频炉比，其优点是结构紧凑、占地面积小、功率利用率高、电耗小、耐火材料蚀损少、温度可控制在±5℃以内、金属氧化损失小、除渣方便等。但这种炉子只适宜于单品种炉料的连续熔炼，另外有轻料不易进入熔化区，屑料易浮在出料口引起搭桥等缺点。

历史 早在19世纪80年代就已发明感应熔炼炉，但早期是明沟式的，熔沟暴露在大气中，工作时，金属溶液因受径向电磁力的压缩会被截断，造成断电和金属飞溅，因此未获推广。1917年根据怀亚特(Whust)的建议，把熔沟设在金属液面之下以液体静压力抵消电磁压缩力，制成了埋沟式有心炉。到30年代，有心炉已在有色金属工业中得到推广应用，到40年代又开始用于铸铁保温。60年代末问世的熔沟内金属单向流动技术，提高了有心炉的生产率，延长了熔沟的使用寿命。70年代后随着连续铸钢技术的发展，有心炉与超高功率电弧炉配合用作钢水的保温炉。当今最大的有心炉容量为1650 t，装于南非，功率15000 kW，炉长15.2 m，直径7.2 m，具有6只单向流动感应体，该炉用于铸铁保温。

耐火材料坩埚无心感应熔炼炉中的高频炉早在1918年就已问世，用的是电火花高频电源。30年代中有了用电子管高频电源的高频炉和以旋转变频机为电源的中频炉。工频炉是在二次世界大战以后才有的，从50年代起在铸造行业中得到推广。从70年代起随着晶闸管中频电源的发展，中频炉得到更大推广，在中小容量(约15 t以下)领域中有替代工频炉的趋势。

真空感应炉问世于20世纪30年代，二次世界大战后有较大发展，生产的高温合金、高强度钢，促进了现代航空航天技术的发展。

有人无心炉上配用等离子枪或石墨电极，制成所谓等离子感应炉和电弧感应炉，以克服无心炉炉渣温度低、炉渣和金属炉料冶金反应弱的缺点，但实际应用至今不多。

见感应加热，感应电热设备。

参考书目

J. 戴维斯等著，感应加热手册，张淑芳等译，北

京：国防工业出版社，1985

(王子峰 蒋璐吉)

ganying tongbuqi

感应同步器 (inductosyn) 一种高精度的

角度或位移检测元件。它的固定部分和运动部分都有采用印刷电路图形的平面绕组。感应同步器有圆盘式(又称旋转式，图1)和直线式(图2)两种。

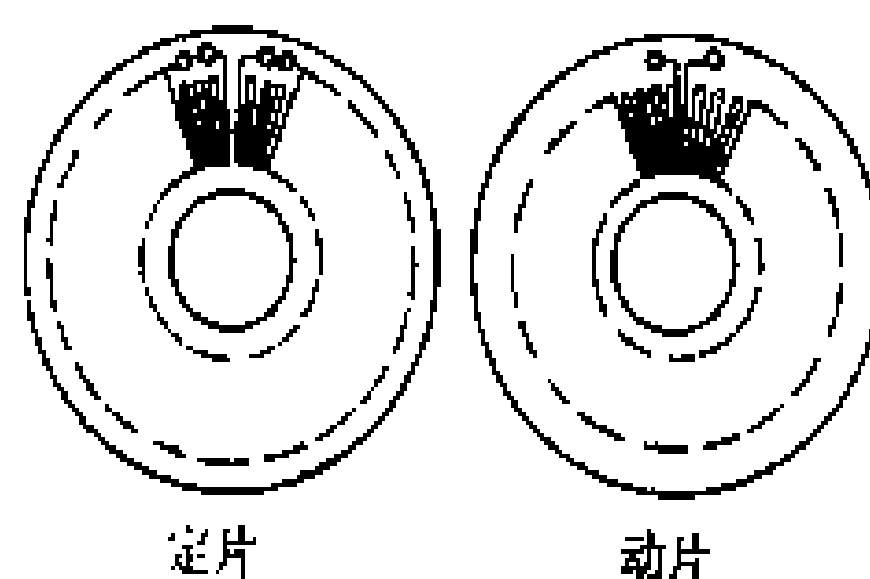


图1 圆盘式感应同步器

圆盘式感应同步器 主要由定片和动片组成。定片和动片都是在钢板制成的环形基板上采用印刷电路

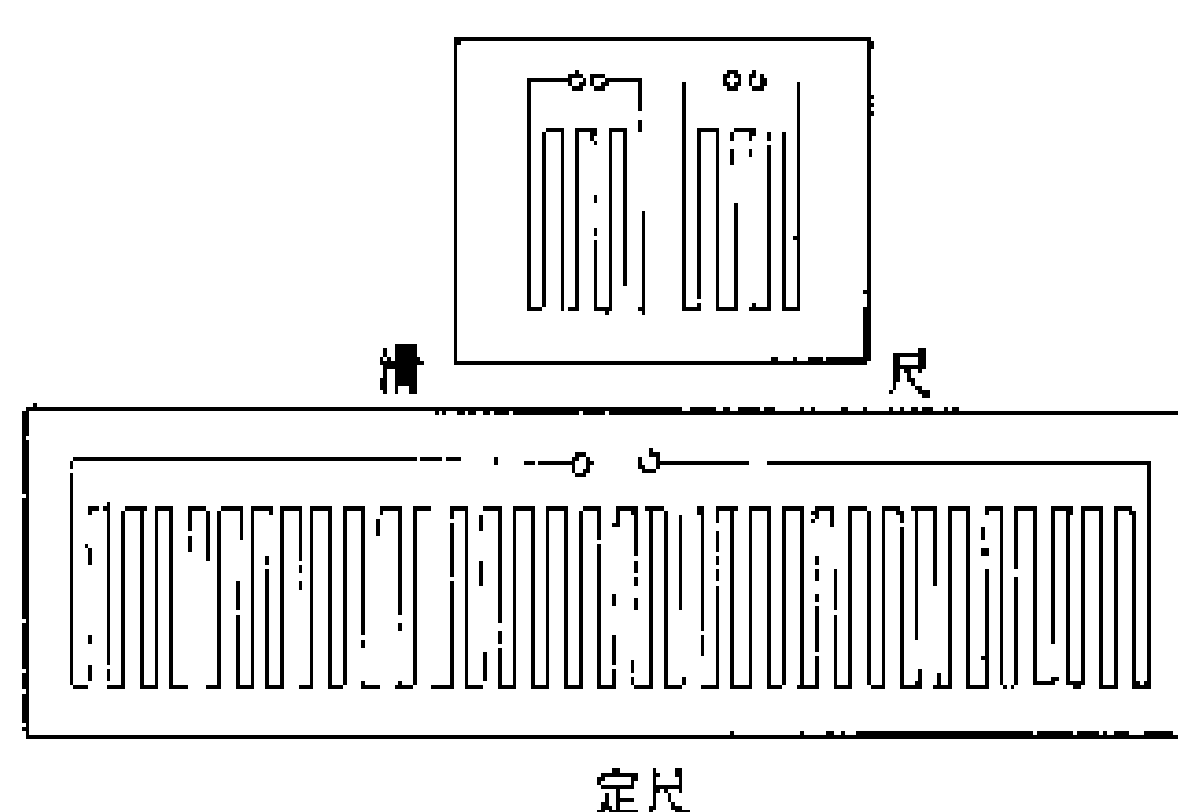


图2 直线式感应同步器

的平面绕组，分别称为定子绕组和转子绕组。转子绕组串联相接，每一根导体代表一个极，构成多极形式。定子绕组分成若干组，相邻两绕组互差90°电角度。转子绕组以交流电压 \dot{U} 励磁时，定子两相绕组输出电压为

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_A &= KU \sin N \frac{\theta}{2} \\ \dot{U}_B &= KU \cos N \frac{\theta}{2} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中 K 为电压耦合系数； N 为极数，即转子绕组导体数； θ 为动片转角。

直线式感应同步器 由定尺和滑尺组成，相当于圆盘式感应同步器的定片和动片。当定尺上的两相绕组分别以交流电压 \dot{U}_A 和 \dot{U}_B 励磁时，滑尺上的绕组输出电压为

$$\dot{U} = K \left(U_A \sin \frac{\pi}{\tau} x + U_B \cos \frac{\pi}{\tau} x \right) \quad (2)$$

式中 τ 为极距，即滑尺上的绕组相邻两导体间距离，mm； x 为滑尺直线位移量，mm； K 的含义同式(1)。

感应同步器输出信号很微弱，需配以变换电路，将输出电信号进行处理，以提高精度。其精度很高，可达1 μm以下，又由于结构简单、工作可靠，性能稳

定,已广泛用于精密机床和大型机床、航天测试技术设备和装置等方面,构成角度或位移的精密测量、定位和随动系统。

(金欣政)

ganying toure shebei

感应透热设备 (induction through-heating installation) 供金属材料透热用的感应炉,又称感应加热炉。

“透热”是相对于“表面加热”而言的。进行感应加热时,由于金属材料中感应电流的趋肤效应,热量主要在表面层产生,电流频率愈高,加热层愈薄,但如果电流频率和输入功率选择适当,并采取其他措施,使表面电流加热层足够厚,并且在表面层中产生的热量与由表面层向内部传导的热量相当,则可以做到表面层的温度不过高而热量能透入到炉料内部,使整块炉料得到大致均匀的加热,习惯上称透热。

感应透热设备主要用于钢锭、铝锭和铜锭在锻造、轧制、挤压等热加工前的加热,以及钢、铸铁等金属材料和某些机械零件的整体加热和退火、回火等热处理,在汽车、拖拉机、工程机械、轴承、工具等许多行业中得到广泛应用。

与用燃料炉加热比,感应透热的优点是:①加热快、金属氧化损失少,可节省金属材料,延长模具寿命;②加热温度可较精确控制,且可对炉料沿长度方向分段进行不同温度的加热(对铝锭常有此必要);③起动和停止快,便于使用,生产率高,加热效率高;④能用于机械化、自动化生产线中,适宜于批量生产;⑤对环境污染小。缺点是:①设备投资较高;②不适宜加热形状复杂的工件和多品种小批量生产。

感应透热设备主要由电源、电热装置、控制系统等部分组成。

电源视炉料材质和尺寸可用工频、中频或高频电源(见电炉变频电源)。选择适当的电源频率对加热效率起重要作用。

电热装置由机架、感应器、进出料机构等部分组成,多附有冷却系统。电热装置结构型式很多,按作业方式有间歇式(一次进料,一次出料,加热时炉料在感应器内固定不动)和连续式(加热时炉料在感应器内不间断地或有节奏地从进料端向出料端移动)两类,炉料输送方式有推送式、夹辊式、步进式、传送带式、牵引式等许多种,驱动方式有人工、气压、液压、电动等几种。感应器内部有用耐火材料、绝热材料制成的炉衬,炉衬内通常设有耐热钢材制成的托架或导轨,用以支承炉料。导轨中通常通水冷却。金属材料透热时,由于感应电流的趋肤效应,材料的表面和中

心会产生横向温差;由于感应器两端磁力线分散和热损失较大,炉料的端部和中间会产生纵向温差。电热装置在设计中的一个重要内容是使加热后炉料内部的温差在允许的范围内。

控制系统用来监测和控制加热过程中各项电参数及温度、速度等。小型设备有用人工控制的,现代化设备则多采用自动控制。

感应透热设备的应用始于第二次世界大战期间。当时主要在军事工业中供炮弹坯料在锻前的加热和退火用。战后这种设备在民用工业中迅速得到推广。20世纪70年代美国制成六套大型感应透热设备,总功率210000 kW,单个感应器最大功率20000 kW,组织在薄钢带连铸连轧生产线中,可加热重28 t的扁锭,总生产率540 t/h。该设备能把扁锭在1 h内加热到1260℃,加热电耗358 kW·h/t,钢材表面氧化损失小于0.125%,加热成本比用燃料炉加热少50%以上。中国于1963年开始研制感应透热设备,第一台用于铝锭加热,800 kW,现铝锭透热设备已系列化,钢锭和铜锭透热设备也都有较快发展。

随着电力供应日益充足,感应透热设备预计会在许多加热领域里替代燃料炉。

参考书目

西安电炉研究所,第一机械工业部技术情报所编.感应加热技术应用及其设备设计经验,北京:机械工业出版社,1974

(李宝璋 蒋聪吉)

gangbao jinglianlu

钢包精炼炉 (ladle refining furnace) 在钢包中对钢液进行精炼的电炉,简称钢包炉。钢包又叫钢水包、盛钢桶,原先只供盛装炼钢炉炼好的钢液以浇注钢锭用。从20世纪50年代起,一种所谓炉外精炼技术得到发展。其特点是:把炼钢电弧炉、氧气转炉等炼钢炉只作为初炼炉,用于炉料的熔化和对钢液的脱磷、脱碳和全合金化,而把钢液的进一步精炼移到钢包或类似容器中进行。炉外精炼方法现在已有几十种,大体上可分为两大类。一类在精炼过程中不用外界热源加热,其中主要有DH法(真空提升脱气法)、RH法(真空循环脱气法)、VOD法(真空-氧化脱碳法)、AOD法(氩-氧脱碳法)等。另一类在精炼过程中用电弧或等离子电弧对钢液进行加热。其中主要有ASEA-SKF法、VAD法(真空电弧脱气法)和LF法(钢包炉法)等。

钢包炉的电弧加热系统与炼钢电弧炉的类似,但需要用高质量石墨电极。加热电耗随精炼时间长短和钢种而异,在30 kW·h/t上下。真空系统采用大抽

气能力的水蒸气喷射泵。实践证明,吹氩有良好的冶金效果,有代替电磁搅拌的趋势。钢包炉一般都配备添加合金、测温、取样、吹氧等辅助装置。

中国于20世纪70年代购置了两台ASEA—SKF型钢包炉,容量分别为100 t和30 t。80年代购置了一台类似VAD型的VHD—VOD型60 t炉用于精炼轴承钢。80年代中,西安电炉研究所开始自行研制钢包炉,其中的HB—40型炉综合了国外各种炉型的优点,具有电弧加热、真空除气、吹氧脱碳、吹氩搅拌、倾动排渣等多种功能,既能象ASEA—SKF型炉和LF型炉那样精炼轴承钢和合金结构钢,又能象VOD型炉那样精炼不锈钢。

特点 在各类钢包炉中进行精炼的共同点是:①使钢液处于真空中和(或)让氩气自下而上通过钢液,由于真空和氩气泡中氢、氧、氮等气体分压都低,钢中的氢、氧、氮,以及由碳和氧化合生成的一氧化碳等气体会逸出钢液而被排除;②对钢液进行辅助加热,以促使炉渣与钢液间的冶金反应和调节钢液温度;③使钢液得到搅拌,以加速冶金反应和气体的排除,并使合金成分均匀。

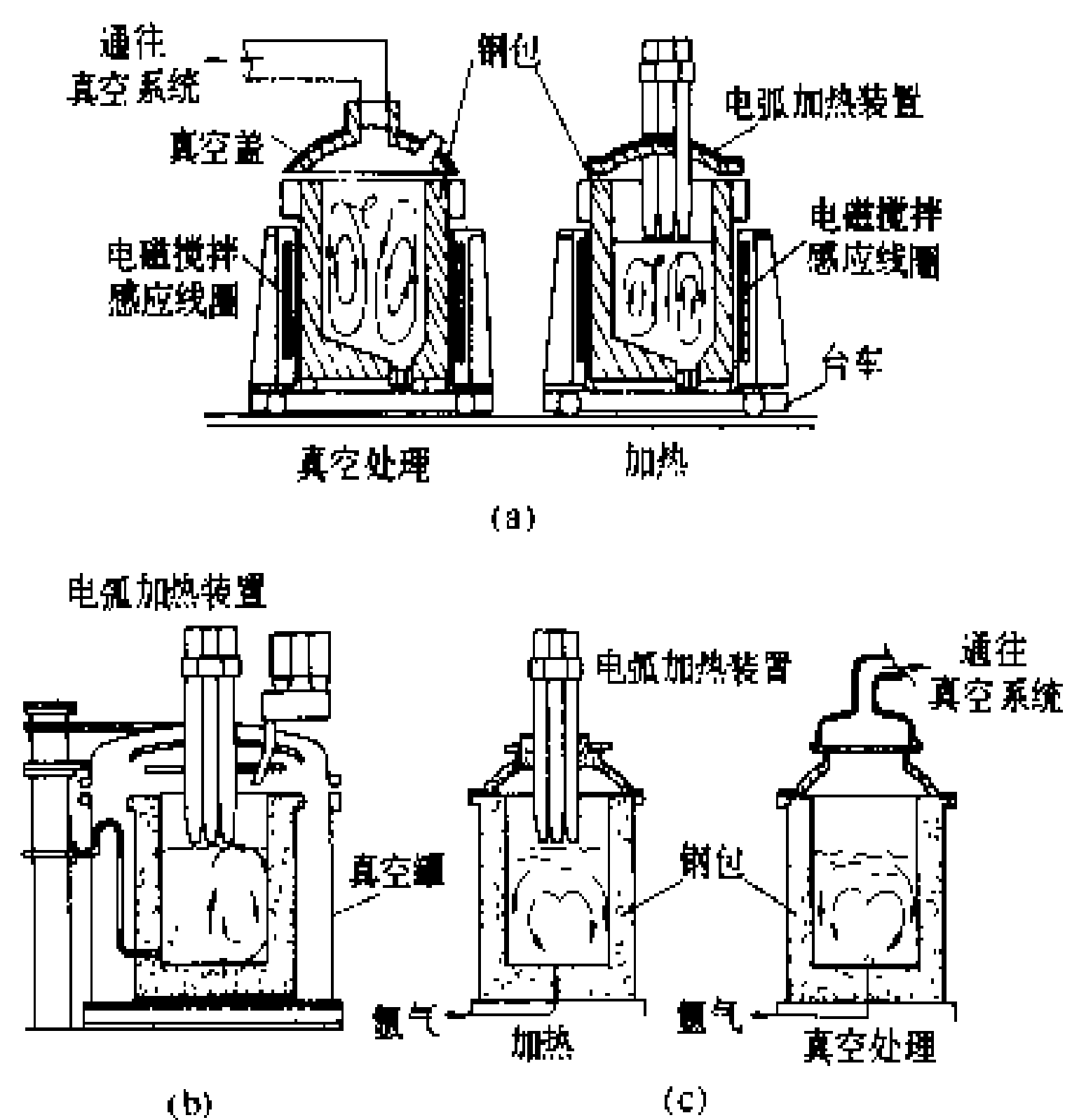
优点 用钢包炉进行钢的精炼有以下优点:①初炼炉的生产率可显著提高,其设备潜力可得到充分发挥;②对钢液的初始温度要求不严,且可对钢液进行保温、升温等,工艺灵活性大;③除杂效果好(氢含量可小于2 μm,氧小于30 μm),合金成分和出钢温度可精确控制,钢的质量显著提高;④炼钢成本比在炼钢电弧炉中精炼时要低。

设备 三种类型钢包炉的基本结构和工作情况见图。

ASEA—SKF型炉是瑞典通用电气(ASEA)公司和滚珠轴承(SKf)公司在1965年开发的。钢包装在台车中。工作时,先在真空处理位置进行钢液的除气;然后移到加热位置进行电弧加热,必要时可造渣精炼。处理过程中钢液受到钢包外侧感应线圈的低频(1~2 Hz)电磁搅拌。处理结束后从底部浇注孔出钢。这种钢包炉的容量在20~150 t范围内,真空脱气时间对100 t炉约30 min,电弧加热用变压器容量以满足熔化添加的渣料和合金料,并使钢液有1~2℃/min的升温速度为度,对60 t炉约6000 kV·A。这种钢包炉的优点是不需要有氩气;缺点是因采用电磁搅拌,钢包外壳须用非磁性不锈钢制成,钢包应为细长形,炉衬受钢液冲刷侵蚀较快等。

VAD型炉是美国芬克尔(Finkl)公司在联邦德国标准-梅索(standard-messo)公司协助下于1968年研制的。工作时,钢包处于真空罐中,在 $(1.5\sim3)\times 10^4$ Pa真空下用电弧加热,钢液用氩搅拌。这种炉容量

在15~150t范围内,脱气时间对90t炉为15~20min。电弧加热变压器容量:15 t炉约3000 kV·A,90 t炉为9000 kV·A。钢液升温速度为3~4℃/min。这种钢包炉的功能与ASEA—SKF型炉相同,由于用真空罐,设备投资费用较大,但炼钢成本较低。



几种钢包精炼炉示意图

(a) ASEA—SKF型炉; (b) VAD型炉; (c) LF型炉

LF型炉是日本大同特殊钢公司于1971年开发的。工作中,用大量高碱性渣料经电弧加热造渣精炼,用氩气搅拌除气,必要时也可进行真空除气。钢包要密封,以便炉内能保持还原性气氛,容量在20~150 t范围内,精炼周期50~90 min,变压器容量对50t炉约8000 kV·A,相应的升温速度约4.5℃/min。这种炉对钢液有良好的脱碳效果。

(佟伟 蒋聪吉)

gangtie gongye yongdian

钢铁工业用电 (electrical energy utilization of steel industry)

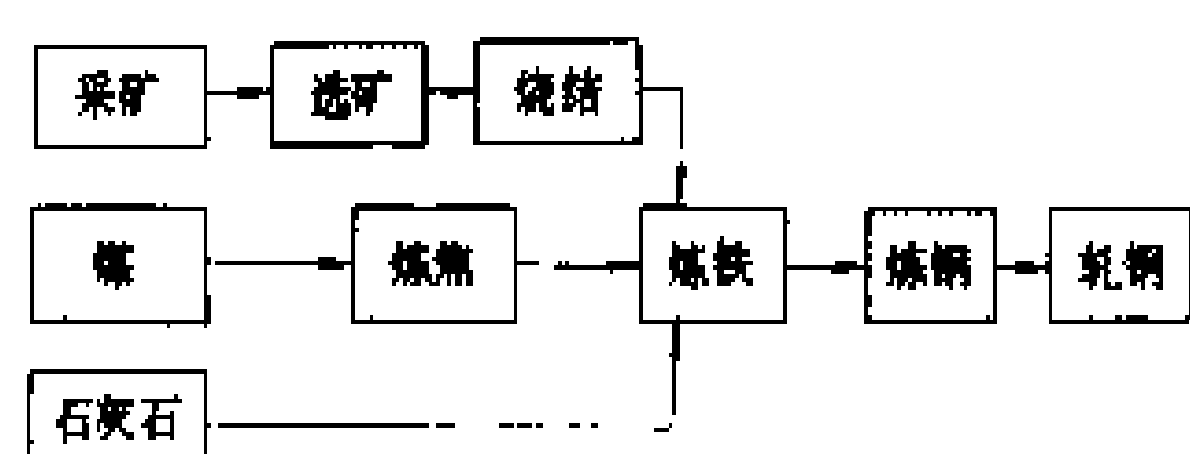
钢铁工业是黑色金属工业的核心,其他黑色金属工业都作为钢铁生产工业的中间产品而存在。生铁、钢、熟铁的区别主要在含碳量,一般含碳量在2%以上为生铁,0.1%以下为熟铁,中间为钢。钢铁工业包括铁矿石开采、选矿、烧结、炼焦、炼铁、炼钢、轧材等主要工序。现代化的钢铁企业多为大型钢铁联合企业,可进行全部工序生产;根据某种特殊需要,还有只进行部分生产工序如生产某种专用钢种、钢材等的较小独立企业。钢铁生产消耗大量动力和热能,需要大量能源。从技术进步过程看,以电能代替部分直接使用的一次能源是提高产品质量降低综合能耗的有效措施。

钢铁工业用电设备中属一级负荷的有高炉炉体冷

却水泵、泥炮机、热风炉助燃风机，平炉的倾动装置用电动机、装料机，转炉的吹氧管升降机构、烟罩升降机构以及铸锭吊车、大型连轧机、加热炉助燃风机、均热炉钳式吊车等。属二级负荷的有立井的提升机或露天矿排水泵、烧结机、高炉装料系统、转炉上料装置、各型轧机的主传动及辅助传动设备等。（见用电负荷级别）

钢铁生产对供电可靠性要求高，在生产过程中如中断供电，会使许多主要设备遭到损坏，有些还会引起爆炸，甚至造成人身伤亡等严重事故。如鼓风机突然停电，高炉内压力下降成负压，进入空气就可能发生爆炸；泥炮机在工作时突然停电，就堵不住高炉出铁口而造成喷铁喷渣，可能发生烧伤事故；制氧机停电后，可能会由于静电作用引起爆炸；吹氧管升降机构在吹炼时突然停电，吹管就会因提不起来而被烧化，还会引起严重爆炸事故。因此，为保证钢铁生产安全，设备正常运行，必须确保重要负荷连续供电。

生产工艺 钢铁联合企业生产流程简图见图。



钢铁联合企业生产流程简图

采矿 铁矿石为磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿等。进入高炉炼铁的矿石品位对高炉生产效率和能耗影响很大。一般品位在 20% 以上才有工业开采价值，30%~45% 品位的矿石为贫矿，直接炼铁极不经济，需要经过选矿过程。铁矿石开采多为露天开采，其开采工艺与露天采煤工艺类似（见煤炭工业用电）。

选矿 除去天然铁矿石中其他矿石、肺石和有害杂质，并将其富集起来成为精矿的工艺，称为选矿。选矿过程首先是破碎，然后用磁选、重选、浮选等方法使精矿品位达到 60% 左右。

烧结 由于选出的精矿粉粒度过小，不宜直接进入高炉，需要造成块状。将精矿粉造块的工艺，称为烧结。造块方法有烧结法、球团法、铁焦法等，应用广泛的是烧结法。它是把粉矿（精矿粉和富矿粉）、燃料（焦炭末和无烟煤粉）、熔剂（石灰石粉或石灰粉）放在烧结机上燃烧，用抽风机从料层下部抽风，空气从料面穿过料层使料中的燃料燃烧进行烧结。

炼焦 在炼焦炉内炼焦煤被隔绝空气并加 1000℃ 左右高温，使之干馏制成焦炭的工艺，又称为焦化。焦炭粒度大于 25 mm 的供冶金用，10~25 mm 的供化工部门用，10 mm 以下的供烧结用。炼焦过程产生的煤焦油、焦炉煤气、粗苯、氨等副产品可进行

回收利用。

炼铁 高炉是炼铁的主体设备。从高炉顶端按比例装入铁矿石、烧结矿、焦炭、石灰石等原料，从高炉下部用鼓风机（以蒸汽透平或电动机为动力）鼓入经热风炉加热后的热空气进行冶炼；燃烧产生的高炉煤气经除尘后供燃气轮机发电或用于其他用途；炼出的液体生铁及炉渣分别排出炉体。

铁矿石在高炉中经历还原、造渣、渗碳三个过程：还原过程是焦炭中的碳与鼓入热风中的氧燃烧生成的 CO 气体和空气与燃料在炉内反应生成的氢作为还原剂，把铁矿石（氧化铁）中的氧还原；造渣过程是以石灰石为熔剂，与铁矿石中的杂质（脉石）形成炉渣，浮于铁水表面，达到一定数量时排出炉外；渗碳过程是经过还原、造渣过程的铁吸收焦炭中的碳成为含碳高的生铁。

炼钢 高炉炼出的生铁或废钢在炼钢炉内加热，使铁水中的碳、锰、硅等元素氧化，加入石灰石除去硫、磷等有害元素，经造渣排出，再加入铁合金还原氧，同时根据需要添加定量的元素，调整好钢液成分和温度，经测定达到要求后出钢，将钢水铸成锭、坯或直接铸成钢铸件。（见铁合金工业用电）

炼钢方法有平炉、转炉、电炉三种。平炉炼钢是以煤气或重油为燃料，将生铁和废钢等直接加热熔化并精炼成钢液；转炉炼钢以液态生铁为原料，靠液态生铁的物理热和生铁的组分（如炭、锰、硅、磷等）与送入炉内的氧进行化学反应所产生的热量使其达到出钢要求的温度和成分，不再外加热源；电炉炼钢以炼钢电弧炉的石墨电极间产生的电弧为热源进行炼钢。

轧钢 钢锭经均热炉加热后送入初轧机经多道轧制轧成板坯或方坯，钢坯直接送入各种精轧机制成钢材的为冷轧钢材，经加热炉加热后再精轧成钢材的为热轧钢材。多数钢材成品为热轧钢材。

用电特点 钢铁工业用电具有负荷曲线平稳，负荷率高，自然功率因数低，产生冲击负荷并有谐波污染等特点。

负荷曲线平稳 大型钢铁企业多为连续生产，用电设备大多处于连续稳定运行状态，日用电负荷曲线比较平稳。矿山用电多为非连续运转设备，负荷率较低。高炉炼铁用电负荷最为平稳。平炉、转炉炼钢虽为间断出钢但用电设备主要是连续运行的辅助设备，用电负荷也很平稳。电弧炉炼钢处于不同冶炼阶段，用电负荷变化较大，但多台电炉同时生产时，错开熔化期也可使负荷曲线较为平稳。轧钢用电负荷变化较大。由于钢铁企业生产设备结构不同，其综合负荷曲线也有差异。

自然功率因数低 钢铁工业使用的动力机械数量



很多，且多为自然功率因数在 0.6~0.7 之间的异步电动机。但大型钢铁企业单台用电设备容量较大，常采用同步电动机并处于过励状态运行，可使综合用电功率因数达到 0.8 以上。

产生冲击负荷和谐波污染 轧钢主设备为联轧机，是容量较大的电机，运行中有周期性冲击负荷，其他时间又处于低负荷状态，功率因数较低，对电网安全运行有较大影响。直流电机拖动的轧机采用晶闸管整流时，从电力系统取用急剧变动的大量有功功率和无功功率，使电压波动，晶闸管难以控制。晶闸管同时还产生高次谐波，引起电网电压波形畸变，需要采取适当抑制措施。（见整流器谐波）

（蒋凤铎 顾嘉乘）

gaoceng jianzhu yongdian

高层建筑用电 (electrical energy utilization of huge building) 一般 10 层以上的建筑称为高层建筑，40 层以上的建筑称为超高层建筑。高层建筑分为一般高层建筑及商业性高层建筑。一般高层建筑是指普通居民住的高层住宅、机关单位自用的办公楼、旅馆、医院、学校等。商业性高层建筑是指那些出租或出卖的高层公寓及商住楼、宾馆饭店、写字间办公楼等，在中国主要指供国外旅游者、外国商社或公司驻华办事机构，外国使馆工作人员及其家属，侨民与港、澳、台同胞居住与工作的高层建筑。

商业性高层建筑与一般高层建筑相比，其用电特点表现为用电设备种类繁多、用电水平高、耗电量、供电可靠性要求高。

用电设备 由于这两种高层建筑在使用功能与用电要求上存在着区别，故在用电设备配置上存在着如表 1 所示的差别。

表 1 一般高层建筑与商业性高层建筑的用电设备配置

用电设备 种 类	一 般 高层 建筑	商 业 性 高层 建筑	用电设备 种 类	一 般 高层 建筑	商 业 性 高层 建筑
照 明	✓	✓	锅 炉 房	△	△
电 梯	✓	✓	音响视听	△	✓
给、排水	✓	✓	办公机电	△	✓
空调制冷	○	✓	通信监控	△	✓
厨 房	△	△	消防保安	○	✓
洗衣房	○	△			

注：✓代表必需配备的设备；○代表不需配备的设备；
△代表可有可无的设备，随建筑类别与规模而异。

用电水平与耗电量 一般高层建筑，只比一般多层建筑增加电梯和供水用电，因此用电量增加不多。

商业性高层建筑比一般高层建筑增加了空调、电热水器及其他生活服务设施，照明标准也相应提高了，故其用电水平成倍提高（如表 2 所示），而且年耗电量也要高 10~20 倍。

表 2 一般高层建筑与商业性高层建筑的用电水平

一 般 高层 建筑	用电水平 (V·A/m ²)	商 业 性 高层 建筑	用电水平 (V·A/m ²)
普通高层住宅	10~15	出租公寓，商住楼	40~70
高层社会旅馆	20~40	高层宾馆饭店	70~130
高层机关办公楼	30~50	写字间办公楼	80~140

商业性高层建筑的电力负荷分配比例一般为下列数值：

空调（含制冷、供热、通风）	50%~60%
照明	25%~35%
其他（含电梯、厨房设施、洗衣 房设施、音响视听设备、通信 设备）	10%~20%

由于空调用电随季节性变化较大，一般冬夏季月用电量高于春秋季。夏季用压缩式制冷、冬季用热风取暖的建筑冬夏季和春秋季月用电量差异较大；而冬季用锅炉取暖、夏季用吸收式制冷的建筑则差异较小，其用电水平也相应较低。

对供电的要求 在一般高层建筑中，即使是电梯用电负荷与楼梯照明，也只属二级负荷；而在商业性高层建筑中，其电梯、计算机系统、新闻摄影、录像、宴会厅、餐厅、厨房、高级客房、主要办公室、会议室、总值班室、主要通道照明，均属一级负荷，要求安全供电，故商业性高层建筑一般需要两路高压电源，并配备应急柴油发电机组。（见用电负荷级别）

高层建筑由于楼层多，负荷分散，为保证配电干线最大电压降不超过允许值，减少电能损耗，变配电室位置一般尽量靠近负荷中心，设在邻近冷冻机房与水泵房处。当楼层在 20~30 层时，变配电室大多设置在地下室或楼外辅助建筑内；对于楼层数超过 40 层的超高层建筑，变压器需分层布置，一般采取在地下室和最高层设置变压器，或者分别在地下室、中间层和最高层设置变压器。

高层建筑对变压器防火性能要求严格，按照中国国家标准 GBJ45《高层民用建筑设计防火规范》的要求，可燃油浸电力变压器不宜布置在高层主体建筑内，高层主体建筑内应选用六氟化硫变压器、硅油变压器、干式变压器和环氧树脂浇铸变压器。

（汪训昌）



gaopin dianchang jia re

高频电场加热 (high frequency electric field heating) 利用高频电场的能量对电介质类材料进行电加热的方法。电介质类材料在高频电场作用下,其分子和原子中正负电荷产生高频率的交替位移,分子和原子的热运动加剧,从而使材料得到加热。

高频电场加热的特点:热量是在被加热材料内部产生的,因此加热速度快,加热时间短,热效率高,但设备投资费用较大,电效率较低,生产费用较高,要对电磁波泄漏进行防护。

用高频电场加热时,被加热材料单位体积中所吸收的功率 P 可用下式计算:

$$P=0.56fE^2\epsilon\text{tg}\delta\times10^{-2}$$

式中 f 为电场频率, Hz; E 为电场强度, V/cm; ϵ 为被加热材料的相对介质常数; $\text{tg}\delta$ 为被加热材料的介质损耗角正切。

分类和应用 高频电场加热习惯上分为介质加热和微波加热两类。这样分类不尽合理,因为微波加热也适用于电介质加热,某些技术文献中称高频电场加热为介质加热,并分射频加热和微波加热两类。

微波加热不同于介质加热的是:距被加热材料表面愈深,单位体积的加热功率愈小。因此,要使加热良好,材料厚度要适当。微波加热用于食品、谷物、木材、纺织品、烟草、纸张、橡胶等的加工和医疗工作中。

介质加热 又叫电极式高频电场加热。指的是电介质在 1~300 MHz 电场作用下由于原子或分子中电荷运动而产生热能电加热的。所用设备主要有高频电源、电极和必要的辅助设施等。高频电源主要用电子管振荡器式(见电炉变频电源)。输出频率在约 1~70 MHz 范围内。为避免对短波和超短波通信的干扰,应优先选用 6.780 ± 0.015 , 13.560 ± 0.007 , 27.120 ± 0.163 , 40680 ± 0.020 MHz 四个频段的频率,否则应选用对无线电干扰允许值符合有关标准规定的频率。电极用铜或铝的型材,按被加热材料的形状、尺寸和加热工艺等制成板状、棒状、带状、球状、滚轮等多种形式。被加热材料置于两电极之间。介质加热的特点除加热速度可以很快以外,主要是可实现材料表面和内部的均匀加热。为保证加热良好,电源频率、电场强度、功率输出、加热时间都应选择适当。介质加热的用途和各项运行参数举例于表。

微波加热 电介质在 300~300000 MHz 超高频

电磁波作用下,主要由分子运动和离子传导产生热能电加热。为避免对微波通信和雷达等的干扰,国际上规定的微波加热专用频率是 915 ± 25 , 2450 ± 50 , 5800 ± 75 , 22125 ± 125 MHz, 常用的是前两者。微波加热设备主要由微波电子管、微波馈线、微波加热器三者组成。微波电子管主要用连续波磁控管,微波馈

介质加热的用途和运行参数举例

用 途	频率 (Hz)	单位功率 (W/cm ³)	电场强度 (V/cm)	加热时间
木材胶合	8~15	0.2~1.0	200~1200	0.3~2 min
铸造泥芯干燥	6~50	1~3	200~800	2~20 min
谷物真空干燥	10~12	0.08~0.09	50~100	0.75~1.20 h
橡胶轮胎硫化	5~10	1.4~5.0	200~700	4~8 min
薄层纸干燥	20~30	100~500	1200~5700	5~40 s
厚层纸干燥	20~30	3~5	300~	0.25~3.0 h
罐头杀菌	25~35	3~7	250~300	40~110 s
塑料粉加热	10~50	2~4	1500~2500	30~100 s
塑料间歇式焊接	35~75	50~800	2000~15000	0.3~20 s
塑料连续滚焊	40~200	1000~1500	3000~30000	0.03~0.2 s

线有同轴线和波导管两种。微波由电子管通过馈线送到微波加热器。微波加热器有驻波场谐振腔加热器、行波场波导加热器和辐射加热器三种。间歇式驻波场谐振腔加热器简称微波箱,家用微波电灶就采用这种结构;行波场波导加热器一般用于连续式微波炉;辐射加热器用于把微波能直接辐射到被加热物体上进行加热,多用于理疗,有许多种结构型式。

连续波磁控管的输出功率从数瓦到上百千瓦,其中小于 300 W 者用于理疗,400~1000 W 者用于家用微波电灶和实验设备,1000 W 以上者用于工业。其效率为 70%~80%。

发展简史 电极式高频电场加热在 20 世纪 40 年代开始应用于木材、纸张、橡胶、塑料等的加工工业中,美国冯·希佩尔(Hippel)等对在 $10^2\sim10^4$ Hz 频率范围内的许多材料的性能数据进行了试验研究。这项工作为高频电场加热在工业上的应用奠定了坚实的基础,但在技术、经济等方面一直受到其他加热方法的挑战,发展较慢。中国从 20 世纪 70 年代开始,在塑料焊接方面广泛应用了电极式高频电场加热。

微波加热于 20 世纪 40 年代后期用于工业。60 年代随着家用微波炉的商品化而得到较大推广,以在食品工业和橡胶工业中的应用最为成功。中国从 70 年代起制成许多种微波加热设备,在白酒老熟、中药烘烤杀菌、肿瘤痔疮治疗、微波针灸等方面作了开拓性的工作。

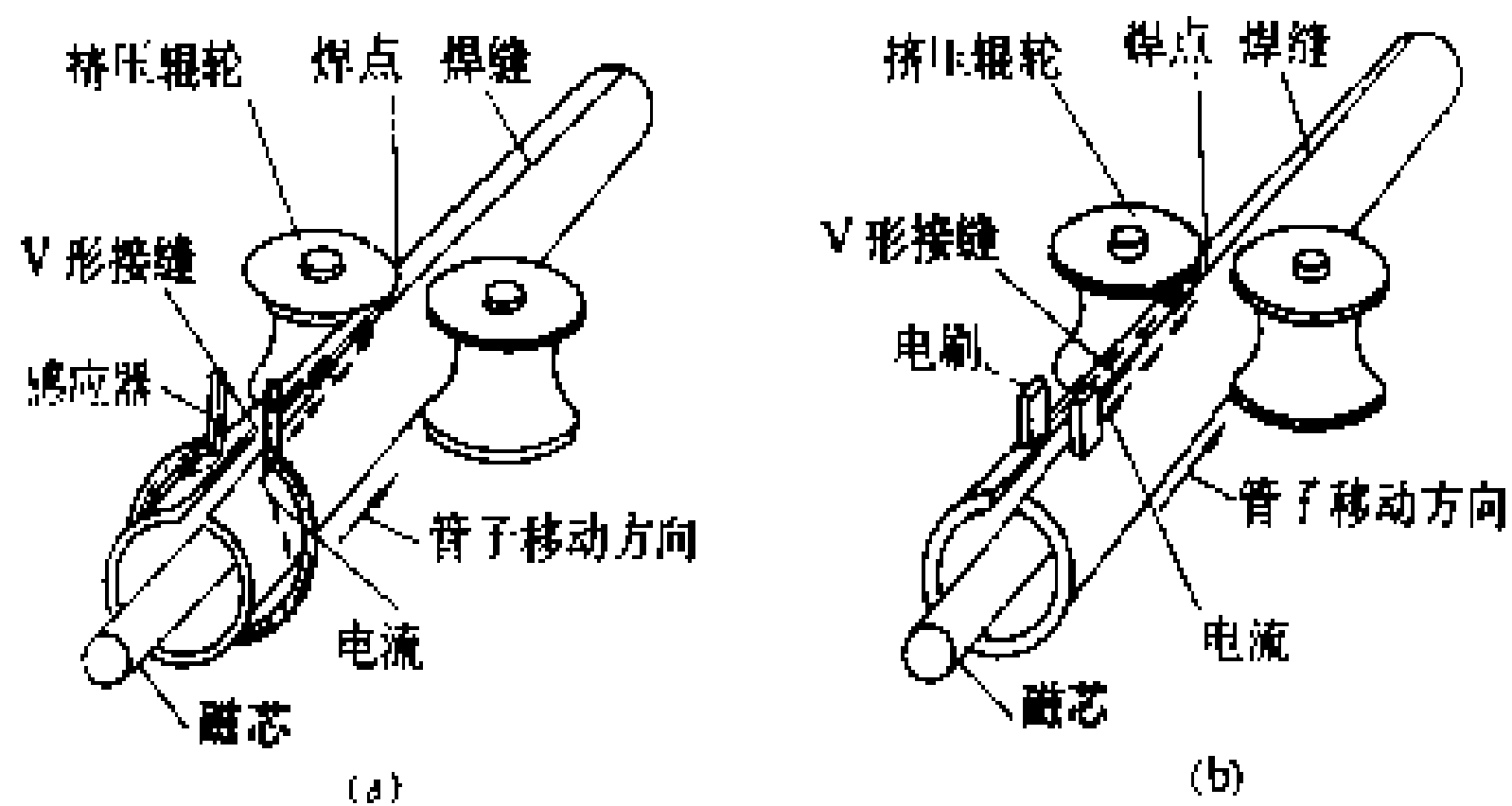
参考书目

钱鸿森. 微波加热应用技术. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1985

(汤景明)

gaopinhan

高频焊 (high-frequency welding) 利用 10~500 kHz 高频电流产生的热作为热源的压焊方法(见电焊)。典型的高频焊如图所示, 焊件(管坯)在两个滚轮间快速向一个方向移动, 来自高频电源, 或通过电刷送入, 或由感应器感应产生的高频电流通过焊件 V 形接缝的两侧形成回路。焊点处的金属被焊件内阻和焊点处接触电阻所产生的电阻热加热到熔塑状态, 在辊轮的压力下, 焊接在一起。管坯中心放置的磁心(通常用铁氧磁棒)用来减少由环绕管坯圆筒方向流通的高频电流所产生的能量损失。由于高频电流的邻近效应, 高频电流集中在 V 形接缝两侧, 因此高频焊有极高的加热速度。



高频焊示意图

(a) 高频感应焊; (b) 高频电阻焊

特点和用途 高频焊有以下特点: ①热量高度集中, 热影响区小, 焊件变形小, 表面氧化少, 焊缝外形平滑, 焊接质量稳定; ②用于连续焊, 焊接速度快, 焊接生产率高; ③焊件表面在焊前一般不需清理(表面氧化皮类似电容, 高频电流容易通过); ④焊接时不需填充金属和焊剂; ⑤电能、材料和工时消耗少, 焊接成本低。但高频焊受焊件和接头形状的限制较严, 高频电磁波会产生无线电干扰, 须加屏蔽。高频焊可用于焊接碳钢, 合金钢, 铝、铜、镍、钛和锆等有色金属及其合金, 还可用来焊接异种金属; 工业上主要用于生产金属有缝管和结构型材等。

分类 高频焊分高频感应焊和高频电阻焊两类。

高频感应焊 焊件中的高频电流是由感应器感应产生的, 如图(a)(见感应加热)。优点是感应器不与焊件接触, 设备运行平稳, 焊件表面不会划伤或烧伤, 没有电刷磨损等问题。缺点是焊件中的高频电流回路是闭合的, 必须环绕焊件, 因此这种方法实际只适用

于焊接管材; 另外, 焊件中电流的路径长, 电能利用率低(管径愈大, 利用率愈低)。这种方法一般只用于小直径(9~114mm)金属直缝管, 如水、煤气管, 电线套管, 自行车管等的生产, 特别适用于焊接有镀层的金属管。电源频率一般用 400~500 kHz。用 100 kW 高频电源焊外径 25 mm、壁厚 1.2 mm 的低碳钢管, 焊件速度可达 50~70 m/min。

高频感应焊还可用于棒材或管材的对焊(见电阻焊), 利用感应器把两焊件的对接接头加热到熔塑状态, 然后加压使之焊接在一起。

高频电阻焊 焊件中的高频电流通过电刷直接来自高频电源, 如图(b)(见电阻加热)。优点是: 高频电流不在焊件内形成闭合回路, 在焊件中的电流路径短, 电能利用率高。缺点是须定期更换电刷, 同时应注意解决因电刷跳动开路, 使高频电源受损和因电刷下发生电弧使焊件表面烧伤等问题。这种焊接方法的适用范围宽, 除广泛用于中、大直径且壁厚较大的金属直缝管的生产外, 凡能构成 V 形回路、能利用高频电流的邻近效应、并能对焊部施加压力、生产连续性强、要求生产率高的场合都可采用。如用带材以螺旋形焊接厚壁(如 10 mm)大直径金属管, 用板材或带材焊接断面呈 I、H、L、T 或 Z 形等的结构型材, 在热交换器管上焊接螺旋形翅片等。焊接工艺参数, 以金属直缝管的焊接为例: 中频电源频率一般用 250~500 kHz; 电刷离辊轮中心线距离为 20~150 mm; 两电刷间电压为 50~200 V; 焊接电流为 1000~3000 A; 焊接速度可达 60~300 m/min。除上述 V 型接缝的焊接外, 利用高频电流的邻近效应, 这种方法还用于汽车轮圈坯料的对头焊接(用约 10kHz 频率的电流)和圆形或椭圆形工件的卷边焊等。

设备 高频焊接设备主要由电源和机械装置两大部分组成。电源中用得最多的是输出频率为 250~500 kHz 的电子管高频电源, 由滤波器、配电柜、变压器、高压整流器、高频振荡器、输出变压器和操作台等组成。要求频率较低场合, 可用晶闸管中频电源和静电感应晶体管中、高频电源等。机械部分随焊接工艺要求而异, 复杂程度不一。如用于焊接金属直缝管的高频焊接设备, 其机械部分由拆卷机、剪边机、除铁屑装置、成型机、焊接机、冷却装置、定径机和锯切机等组成, 如系连续生产, 尚须有切头尾机、对焊机

历史和发展 虽然高频感应加热早在 20 世纪 30 年代已在工业上得到应用, 但把高频电能用到焊接中一直到 1950 年才取得成功。这是对电能特性传统观念的评价和对采用非正规, 但实用的焊接方法的不断探索的结果。随着对高频焊优点的深入了解, 这种焊

接方法得到普遍推广,在汽车、自行车、电缆、食品罐头、锅炉等许多工业部门中得到应用,并正向核能、航空、航天等工业领域发展。

(周尧生 蒋聪吉)

gaoya gongdeng

高压汞灯 (high pressure mercury lamp)

一种利用汞放电时产生的高压,获得较高的可见光发光效率的电光源。自1906年研制出的供医疗和研究用的第一支高压汞灯问世后,到1932年才开始用于照明。这是由于石英封接技术的进步,采用氧化物阴极,充入稀有气体,使灯的启动与稳定性得到改进的结果。到20世纪50年代,发明了适用于高压汞灯的荧光粉后,使灯的显色特性有了较大的改善。特别是到1965年,由于采用稀土荧光粉,使灯的发光效率和显色特性又进一步得到提高和改进,以致这种灯除了在工厂和道路等场所的照明中得到了广泛的使用外,在复印、光聚合和紫外线干燥等工业方面,在植物栽培、灯光捕鱼、保健和医疗等生活保健方面也得到了应用。提高普通照明用高压汞灯的发光效率和改善灯的显色特性是高压汞灯的发展方向。

结构和材料 高压汞灯的结构如图1所示。它的发光管须采用耐高温、耐高压的透明石英玻璃。灯内充

汞量要保证在灯工作时,能完全蒸发,并能达到灯管电压的技术要求。为了降低启动电压和保护电极,同时需充入气压为 $2.6 \times 10^3 \text{ Pa}$ 的氩气。在发光管的两端,采用钼箔封接电极。用钨作主电极,并在其中充填碱土类氧化物等电子发射物质。另外

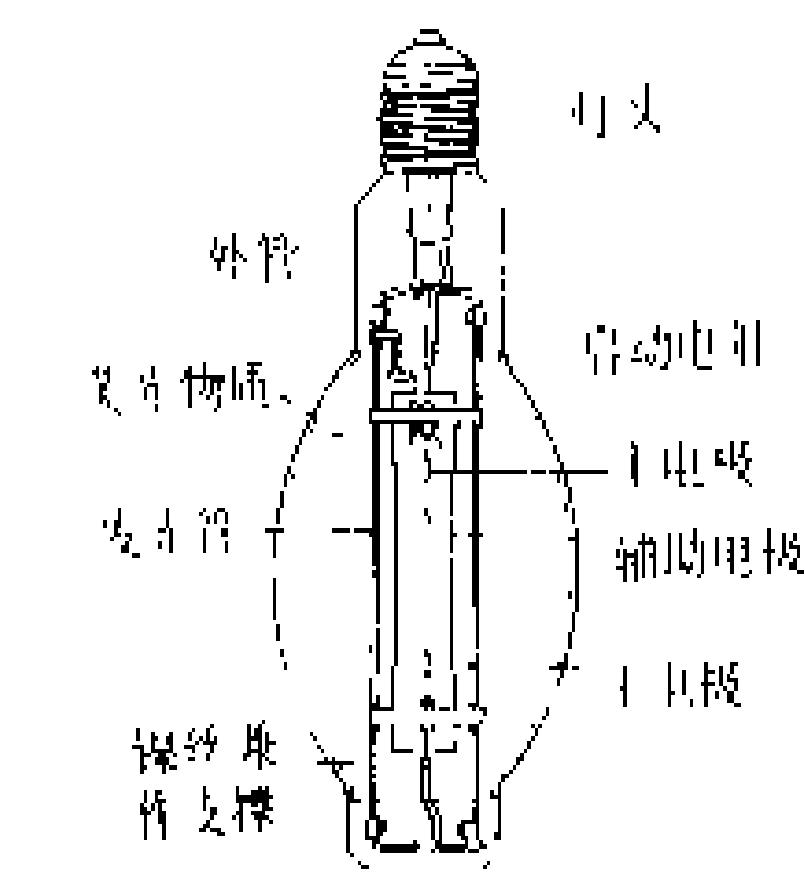


图1 高压汞灯的结构。电极不仅决定灯的启动和寿命,也可能成为噪声干扰源,因此,在灯的设计和制造过程中应加以注意。

高压汞灯的外管,除了具有保持发光管的工作温度、防止金属零件氧化、隔断有害的紫外线和吸收特定波长的辐射等作用外,还能作为涂敷荧光粉和反射型高压汞灯的反射膜的基底。为了改善高压汞灯的光色,在灯的外管涂敷荧光粉,以补充汞的光谱线在红光区发光的不足。

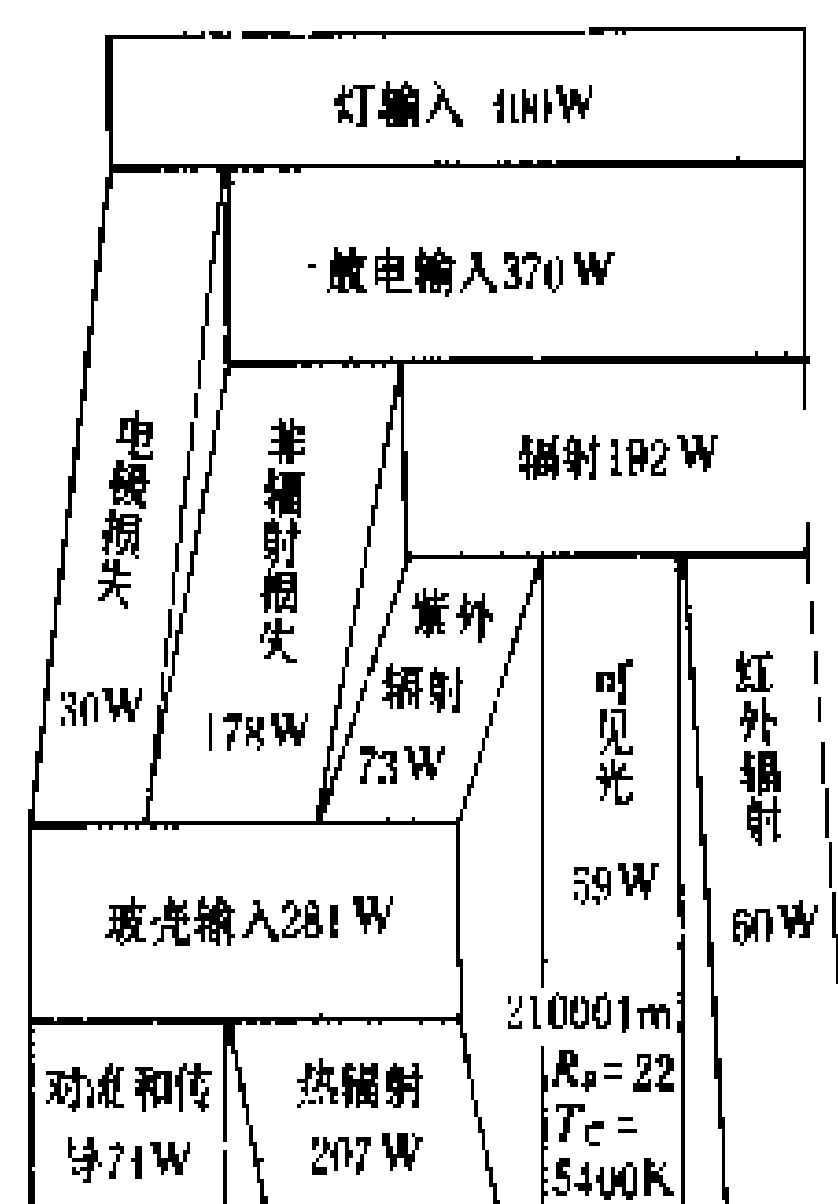
高压汞灯的灯头通常使用机械式的螺口灯头,使用结合剂将灯头和外管连接成一体。

原理 高压汞灯内的汞蒸气压在常温时低于133.3Pa,当灯开始放电后,灯内温度上升,压力缓慢升

高。在充入的汞全部蒸发后,汞蒸气压可达 $1.33 \times 10^5 \sim 1.33 \times 10^6 \text{ Pa}$ 。随着汞蒸气压力的升高,汞电子和原子碰撞频率增大,气体温度接近并几乎等于电子温度。这时气体和电子间达到热平衡状态,在放电中心部位的温度高达6000K,并发出强光。灯中253.7nm的共振谱线被吸收,可见光谱线的强度上升,其中的主要可见光谱线有从7.37eV能级跃迁的404.7, 435.8, 546.1nm和从8.85eV能级跃迁的577.0, 579.0nm。

技术参数 主要指发光效率和寿命。

发光效率 简称光效。高压汞灯的能量分配如图2所示。400W灯的输入功率转化成可见光辐射功率



为59W,只占输入功率的14%,转化为紫外辐射功率为73W,占输入功率的18.2%。为提高高压汞灯的发光效率,须增大发光管的单位弧长功率和使用荧光粉将紫外辐射尽可能地转化成可见光。50~1000W照明用荧光高压汞灯的发光效率约为50

图2 高压汞灯的能量分配 lm/W。使用荧光粉的另一目的是改善光色。一般照明用荧光高压汞灯的平均显色指数 R_a 可由25提高到40~45。

寿命 高压汞灯的寿命与因发光管的黑化而产生的光衰、因电极损耗而使启动电压的升高以及灯的开关次数、发光管设计和电流波形等因素密切相关。当电极的电子发射物质一旦耗尽,除引起管壁急剧黑化外,还会升高启动电压,直至不能启动。高压汞灯的寿命是比较长的,一般可达7000h,有的可达12000h,是一种可靠性好的长寿命电光源。

高压汞灯具有启动和再启动的技术特征,当接通电源后,在主电极和辅助电极之间产生辉光放电,瞬时即转到两主电极之间产生弧光放电。由于弧光放电的热量使汞徐徐蒸发,数分钟后就可全部蒸发达到稳定状态。如果灯的环境温度在 -15°C 以下时,汞的蒸气压下降,灯的启动困难。但是只要提高镇流器的二次电压,就可使主、辅电极或主电极之间产生弧光放电,加热灯管而使灯启动。因此高压汞灯的启动是不难的,在高压汞灯熄灭后,要再启动则比较难的,必须要等到灯管冷却,汞蒸气压下降后才能再启动。一般从熄灯到再启动要5min左右。不过如果给灯施加高压脉冲,即使在高温和汞蒸气压高的情况下也能

再启动。

种类 高压汞灯主要有普通照明用和特殊用途两类。

普通照明用高压汞灯,按有无荧光粉层可分为有荧光高压汞灯和不带荧光粉层的透明高压汞灯。在灯的外玻壳涂有反射膜的称反射型高压汞灯。这种灯可作投光灯用。另外,还有用于装饰照明用的球形高压汞灯、低温启动高压汞灯、瞬时启动高压汞灯和自镇流高压汞灯。

自镇流高压汞灯,由于使用方便,光色比普通高压汞灯有所改善,没有镇流器,在普通照明中应用较为广泛。这种灯是在外玻壳内将灯丝和发光管串联起来,利用灯丝电阻进行镇流,故称自镇流高压汞灯。它的光效取决于灯丝和发光管消耗的功率的比例。与带镇流器的高压汞灯比,自镇流高压汞灯的光效较低。由于灯丝和发光管同时发光(灯丝发光的光通量约占总光通量的10%),相当于一个混光照明光源,这就是光色有所改善的原因。自镇流高压汞灯也分透明型、荧光型、反射型和球形等多种类型。这种灯的明显缺点是光效低和寿命较短,以致影响到它的推广使用。

特殊用途的高压汞灯有适合于300~500 nm的重氮感光纸的静电复印机用高压汞灯;有供检查、广告、显示器用高压汞灯;有供保健医疗用高压汞灯;有用作尼龙原料等物质的光合成的高压汞灯以及作为紫外线涂料和墨水等聚合干燥用高压汞灯等。

(肖辉乾)

gaoya nadeng

高压钠灯 (high pressure sodium lamp)

在半透明氧化铝陶瓷发光管中,利用高压钠蒸气(钠蒸气分压为 10^4 Pa数量级)放电发光的高强度气体放电光源。高压钠灯是所有近白色电光源中发光效率最高、节能效果显著的电光源。

自1966年第一支普通照明用高压钠灯问世后的10年里,虽然灯的性能不断改进,发光效率达100 lm/W以上,寿命超过10000 h,但色温只有2100 K,显色指数 R_a 约为25,只能适用于室外和部分室内对显色性要求不高的场所。80年代以来,灯的功率范围不断扩大,低功率35 W,高功率1000 W的高压钠灯相继问世,显色指数 R_a 为65的改进型高压钠灯和显色指数 R_a 为85的高显色性型高压钠灯也开发成功,使高压钠灯在体育场所、工厂、市内街道乃至商店等场所得到了广泛的应用。近几年世界上高压钠灯的年产量达1400万支左右。中国从70年代开始生产高压钠灯,年产量逐年上升,质量不断提高,1990年高压钠灯的年产量约为100万支,越来越多的城市道路照明

用高压钠灯。

结构和材料 钠是一种活泼金属,在常温下是银白色固体。钠原子结构较简单,它的最低激发电位为2.1 V,相应的共振谱线的波长为589 nm和589.6 nm。低压钠蒸气放电时,钠的共振谱线具有很高的可见光辐射效率。随着钠蒸气压的升高,由于共振谱线自吸收的增加,辐射效率下降。当钠蒸气压继续上升时,共振谱线加宽,在长波部分出现辐射谱线而使辐射效率重新增高。试验表明,钠蒸气压为 $2.66 \times 10^4 \sim 3.33 \times 10^4$ Pa时,灯的发光效率最高,光色为金白色,所以这种灯在20世纪60年代出现后很快地得到了推广应用。

高压钠灯的结构如图1所示。发光管使用对高温、高压钠蒸气具有稳定化学性能的半透明多晶氧化

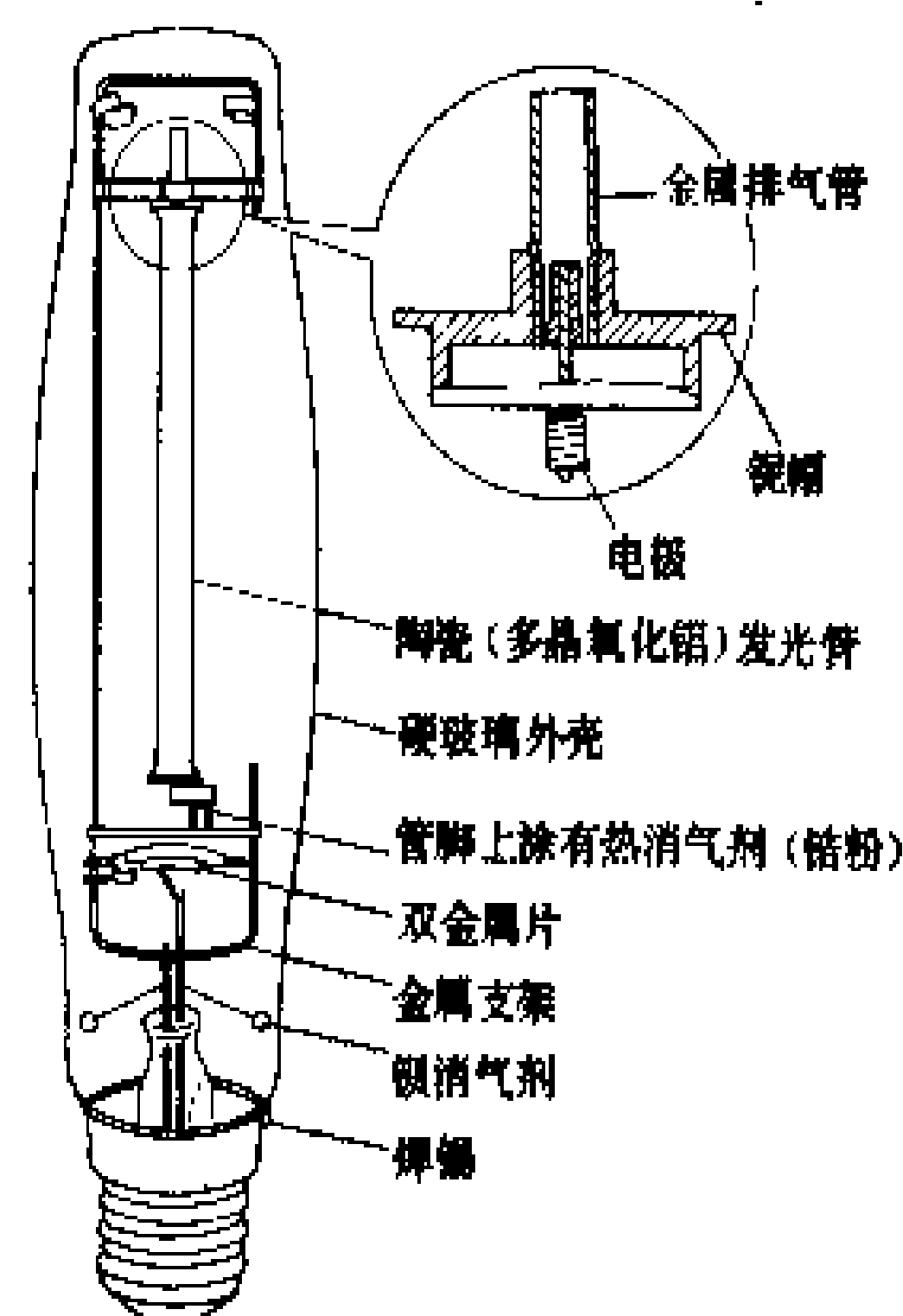


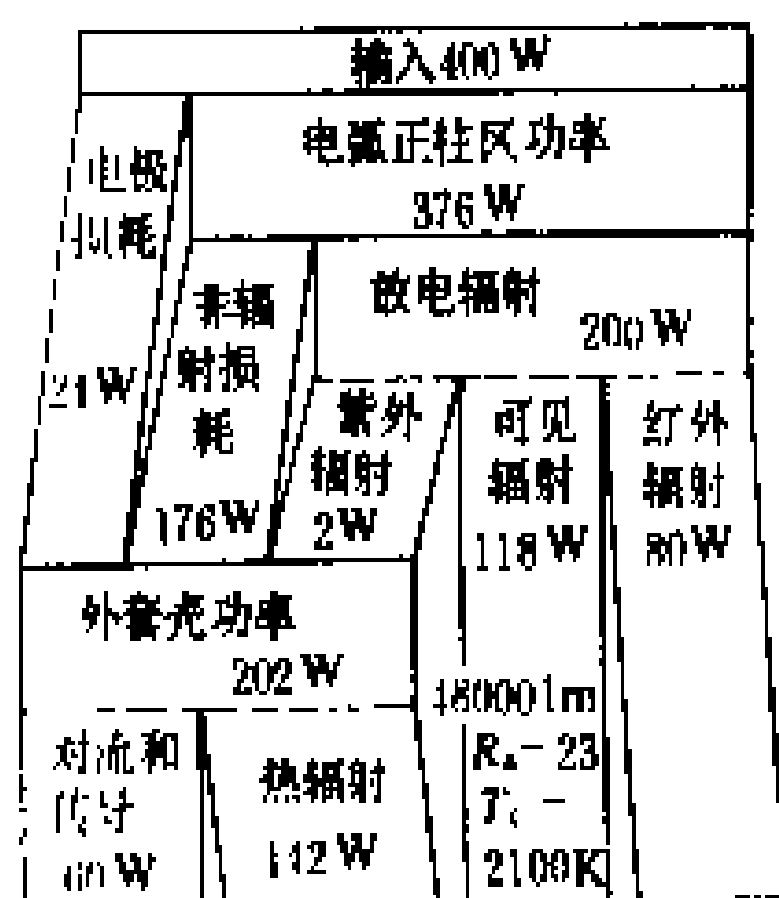
图1 高压钠灯的结构

铝陶瓷管,或者是部分透明的单晶氧化铝管(蓝宝石管)。为了减少由于自吸收所造成的辐射损失,发光管的管径不能过大。400 W高压钠灯发光管的内径约为8 mm或更小。在陶瓷管两端的氧化铝陶瓷端帽(或瓷帽)用氧化钙、氧化铝混合物($\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$)掺入氧化镁(MgO)等作粘合剂封接,而支撑电极的瓷管是在端帽部分封接。电极和陶瓷管的真空封接是保证高压钠灯质量的关键之一,其用料和加工均应从严处理。在发光管内,用作发光物质的钠和作为缓冲气体的汞,是以钠汞齐的形式过量充入,发光管内的氙气和氩气作为辅助启动用的气体,或是采用氙氩潘宁气体。为了防止端帽和瓷管在高温下氧化而变脆,必须将发光管装入抽成高真空的硬质玻璃外管之中。为了保持外管的真空度,需在管中加入钨消气剂。外管抽成真空还可减少发光管的热损失,提高发光管的冷端温度,保证灯的钠蒸气压和发光效率。此外,还可减少外界环境

变化对灯的光电性能的影响。有时为了获得柔光,在外管内壁涂敷二氧化钛。

技术特征 主要包括发光效率、光色、寿命等。

发光效率 简称光效。图 2 为 400 W 高压钠灯的功率转换情况。在汞放电时,转换为可见辐射的功率为 59 W,而钠放电时为 118 W,占输入功率的 29.5%。因此,高压钠灯的发光效率大约为高压汞灯的 2 倍,达 120 lm/W 以上。



光色 高压钠灯的光色参数 x 颜色坐标为 0.51~0.52; y 为 0.41~0.42; 色温约为 2100K; 平均显色指数 R_a 为 25。提高钠蒸气压或加大发光管内径均可改善灯的颜色特性。但是随着灯的颜色特性的改善,发光效率则有所下降。试验表明,色温每提高 100 K,发光效率大约下降 8 lm/W。如果用蓝宝石做发光管,光效可比半透明陶瓷管提高 20%~30%;若牺牲这部分增加的光效换取色温的提高,可做出色温 2450 K、光效为 100 lm/W 的高压钠灯。另外,在灯中充入适量的其他金属,如镉或铯等,也可提高灯的色温,改善灯的显色特性。改进型高压钠灯的显色指数 R_a 可达 65,高显色性型高压钠灯的显色指数 R_a 可达 85。

寿命 高压钠灯问世初期,灯的寿命约为 3000 h。降低灯的寿命的原因很多,其主要原因是点灯过程中,灯的管压上升太快。造成管压上升的原因,一是灯的封接处冷端温度的增高导致发光管内的蒸气压上升而引起管压增高;二是发光管的管壁负荷过大,以致管的中部温度高达 1240℃。在这样的温度下,灯管上蒸发出的金属铝,使灯的外管黑化。这样不仅吸收光,降低透光率,而且将大量的热反射回发光管,使灯的钠蒸气压上升,并造成管压增高。此外,充入的钠和氧化铝陶瓷反应,产生 β -氧化铝,造成灯内的钠损石。为了克服上述缺点,新灯的冷端改在排气管处,发光管尺寸增长,控制管壁负荷在 21 W/cm² 以下,灯的管壁温度不要超过 1150℃。这样发光管的氧化铝蒸发速度大为降低,防止了外管发黑,抑制了管压的上升。另外,由于氧化铝陶瓷管和电极材料质量的提高,灯管结构和制灯工艺的进步,高压钠灯的寿命已达到 2 万 h 以上,成为寿命最长的电光源之一。

启动 由于高压钠灯的发光管细长,加之无启动电极,以致灯不能直接在普通电源下启动。灯的启动

需使用镇流器和灯内启动器。灯内启动器的工作原理与荧光灯的辉光启动器相似。为了加速启动,在发光管外表面涂导电层或安置辅助导体。另外在灯内充入氪氖混合气体,灯的启动更为可靠。

种类和用途 高压钠灯可按灯的显色性、功率和外壳特性进行分类。按灯的显色性分类,有普通型、改进型和高显色性型三类。表 1 为三类 250W 高压钠灯的主要技术特性。根据这三类灯的不同特性,普通型高压钠灯主要用于室外对光色没有要求的场所;改进型高压钠灯主要用于对光色要求不太高的室内或室外照明场所;高显色性型高压钠灯则用于对光色要求高的照明场所。

表 1 三种类型的 250 W 高压钠灯技术特性

灯 参 数	普 通 型	改 进 型	高显色性
灯功率(W)	250	250	250
灯电压(V)	100	100	100
灯电流(A)	3.1	3.1	3.1
光通量(lm)	27500	25000	13500
色 温(K)	2000	2100	2500
显色指数(R_a)	20	65	85

按灯的功率分类有 35, 50, 70, 110, 150, 250, 400, 700, 1000 W 等不同功率的高压钠灯。一般地说 400 W 以上的高压钠灯主要用于室外的道路和广场照明,在一些高大厂房的照明中也常有使用;250W 以下的高压钠灯,主要用于室内照明。表 2 为 50 W/90 V、50 W/52 V 和 70 W/90 V 低功率高压钠灯的主要技术参数。由表 2 看出,低功率高压钠灯的发光效率比高功率灯的要低。通过减小氧化铝陶瓷管的管壁厚度和管径大小,改进电极设计,光效可得到一定的提高。

表 2 小功率高压钠灯参数

灯 参 数	50W/90V	50W/52V	70W/90V
额定功率(W)	50	50	70
灯电压(V)	90	52	90
透明型光通量(lm)	3400	4000	6000
漫射型光通量(lm)	3300	3800	5800
直 径(mm)	67	54	67
玻壳总长(mm)	160	140	160
灯 头	E27	E27	E27

按灯的外壳特性分类有透明型和漫射型两类高压钠灯。这两类灯的用途大致相似,只是漫射型灯的光效比透明型灯约低 3%~10%。

发展趋势 在基础理论研究方面,高压钠灯中钠的分离和电弧溅射引起管压上升问题及为抑制对氧化铝陶瓷管的腐蚀,采用充气式非真空外管的问题是近



几年正在研究的主要课题。高压钠灯的光效,以 400W 灯为例,若将充入灯内的氙气压力从 2.7×10^3 Pa 提高到 2.7×10^4 或 4.7×10^4 Pa,光效预计可提高到 140 lm/W。为了扩大高压钠灯的使用范围,克服提高灯的显色特性将使光效下降的矛盾,发展紧凑型小功率高压钠灯,推广使用汞灯镇流器的高压钠灯将是一个重要的发展趋势。为此,发光管材料性能的改进,如采用单端氧化铝陶瓷管、氧化钪管;电子发射材料和电极结构的改进,如采用钨酸钡锶钙作为电子发射材料和阶梯式电极结构;在封接工艺上,用无排气管单端封接工艺和钠汞齐的研究等将是今后技术开发的重点。随着上述基础理论研究和技术开发工作的进步,将会有力地促进高压钠灯的发展,以满足照明和节能的需要。

参考书目

复旦大学电光源实验室. 电光源原理. 上海:上海人民出版社, 1977

(肖辉乾)

gongzuo jiedi

工作接地 (working earthing) 在低压配电系统中,为了保证电气设备的正常运行而实现的接地,又称系统接地。工作接地可以将中性点直接接地,也可以通过消弧间隙接地。工作接地的接地电阻不应超过 10 Ω。工作接地的作用是降低电气设备相对地间的绝缘要求。当工作接地由配电变压器二次侧星形接线的中性点直接引出时,则还有固定中性点对地电位和解决单相用电设备的电源的作用,以及当变压器高、低压绕组间发生匝间短路时,可以由监测装置给出信号或用保护装置进行保护等作用。

(苏文成)

gonggong dianche

公共电车 (public tram) 以直流电力驱动电动机作牵引动力,在城市和城郊道路上行驶的一种公共交通客运车辆。它具有起动加速快、牵引性能好、无有害气体、投资少、运营成本低等优点,因而在一些城市公共交通中被广泛采用。它分为有轨电车和无轨电车两种。其性能比较见表。

性 能 比 较

项 目	有 轨 电 车	无 轨 电 车
起动加速	较快	快
牵引性能	好	好
对环境影响	噪声较大	噪声小
机动性	差	稍好 (受架空导线制约)
对道路影响	损坏道路	无影响

随着城市建设的发展,人口的增长,城市客流量的增加,普通有轨电车逐渐被淘汰,世界上很多国家正在建设轻型有轨电车,也称轻轨交通,这是一种很有发展前途的交通工具。

(高福崑)

gongluyinshu tiaozheng dianfei

功率因数调整电费 (power factor revised rate) 按用电功率因数高或低的数值,对用户承担的电费数额进行有规则的增或减的做法。用户用电功率因数低,从电力系统吸收无功功率,增加了系统有功损耗,也使用户端的供电质量下降,相应增加了系统无功电源的投入。在电力系统用电低谷时段,如用户向电力系统倒送无功功率,使用户端的供电电压升高,同样影响供电质量。实行功率因数调整电费是电力供应中通用的从经济上促使用户合理进行无功就地补偿,稳定供电质量,降低输变电损耗,减少电力系统无功电源投入的做法。

功率因数调整电费通用的实施办法是在基本电费和电度电费之和的基础上,根据用户实际功率因数的高或低乘以规定的调整系数,来增或减应收电费的数额。低于规定功率因数标准的,调整系数大于 1,反之则小于 1。按一般规律,在电力系统用电高峰时段用户功率因数低,而在电力系统用电低谷时段常有用户向电力系统倒送无功功率。因此,有的电力企业对用户功率因数是按高峰、低谷时段分别考核。

用户实际功率因数通常取在电费结算期内功率因数的加权平均值。计算公式为

$$\text{加权平均功率因数} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\text{无功电量}}{\text{有功电量}} \right)^2}}$$

(王世煜)

gongdiandian

供电点 (power supply point) 用户受电装置接入供电网中的位置。对专线用户,接引专线的变电所或发电厂,即为该用户的供电点;对高压用户,供电的高压线路即为其供电点;对低压用户,接引低压线路的配电变压器,即为其供电点。用户迁移受电装置或改变供电方式时,有可能引起用户供电点的变更。供电点变更后,为适应用户这种变更的需要,必须重新调整供电能力或投资建设新的供电设施。

(徐纪法)

gongdian dianyuan

供电电源 (power supply) 能完成预定

供电功能的装置。供电电源常以频率、电压、相数和功率等参数来表征。在中国,电力系统提供供电电源的频率为交流 50 Hz; 低压单相制为 220 V, 三相制为 380 V, 高压三相三线制为 3, 6, 10, 35, (66), 110, 220, 330, 500 kV。用户在申请用电时, 可根据自己的用电容量、用电重要程度、受电距离以及当地供电条件等来选择自己所需的供电电源的参数和数量。当供电企业无法提供用户需要的供电电源的频率、电压、相数时, 用户需要自己购置变频或变压、换流等电力设备予以解决。

在有条件的电力系统中, 具有保安负荷的用户, 可向供电企业申请第二电源, 作为正常供电电源中断后的备用电源。

(徐纪法)

gongdian fangan

供电方案 (scheme of electric power supply)

电力供应的具体实施计划。供电方案包括: 供电电源位置、出线方式, 供电线路敷设, 供电回路数、走径、跨越、用户进线方式、受电装置容量、主接线、继电保护方式、计量方式、运行方式、调度通信等内容。供电方案要满足供电安全、可靠、经济、运行灵活、管理方便的要求, 并留有发展裕度。供电方案根据确定的供电方式提出, 一般可提出若干个方案, 经过方案优化, 选择最佳一个作为确定的方案。在确定供电方案时, 要考虑: ①使用户受电端有合格的电能质量和适合用户需求的供电可靠性; ②能满足用户近期或远期对电力的需求; ③具有最佳的综合经济效益; ④能满足自动装置和保护的需要, 且结构简单、操作方便、运行灵活; ⑤符合电网建设、改造和发展规划的要求; ⑥技术装备先进, 符合技术规范、标准的要求。

供电方案受多因素的制约, 为寻求技术上先进, 经济上合理, 运行上灵活, 供电上可靠的最佳方案, 一般需要对多种供电方案进行优化。由于影响供电方案的诸多因素中, 只有一部分可进行定量分析, 有相当一部分只能凭借以往的实践经验进行定性分析。因而, 供电方案的优化, 通常是在定性分析的基础上, 采用计算费用法进行分析比较, 在定性分析因素可比的条件下, 选用年费用最小的方案。

供电方案经供电企业认可后, 用户即对供电方案承担相应的义务, 享受相应的权益。为充分利用供电设备能力, 防止用户不按计划实施供电方案而造成供电设备能力闲置的不合理现象, 中国在《全国供用电规则》中作出了供电方案有效期的规定: “为新装或增加用电的用户确定的供电方案, 高压的有效期限为 1 年; 低压的有效期限为 3 个月, 逾期注销。”供电方案有效

期是指供电方案自审批同意之日算起的一段时间。在这段时间内, 如不能完成供电前的准备工作, 供电企业将在到期前书面通知用户, 用户在到期前不申明理由要求延长, 供电方案即失效。

(徐纪法)

gongdian fangshi

供电方式 (types of electric power supply)

电力供应的方法与形式。供电方式随用户对电力需求的多样性和电力系统供电能力而异。合理的供电方式, 对降低供电工程投资, 保证电能质量, 提高供电可靠性有着决定性的作用。供电方式要从保证供电的安全、经济、可靠和便于管理出发, 依据国家的技术经济政策, 以及用户的用电容量、用电性质、用电时间和电力系统的规划、当地供电条件等因素, 经技术经济比较后确定。供电方式包括: 供电电源的参数, 如频率、相数、电压, 供电电源的地点、数量, 受电装置位置、容量、进线方式、主接线及运行方式, 供用电之间的管理关系以及供电的时限等。

根据供电电源和管理关系的不同, 供电方式分为: 高压供电方式、低压供电方式、趸售供电方式、委托供电方式、多电源供电方式、临时供电方式。

高压供电方式 以 3kV 及以上电压实施的供电。中国从 20 世纪 60 年代开始, 对电力系统进行改造, 除发电厂仍保留 3、6 kV 电压外, 逐步淘汰了 3, 6, 15, 22, 44 kV 供电电压, 简化了电压等级, 减少了输变电设备重复容量, 降低了线路损耗, 提高了供电能力, 电力网形成 0.22, 0.4, 10, 35, (66), 110, 220, 330, 500 kV 系列电压等级。当用户需求的电压不在上列范围时, 用户可自行采取措施解决。

低压供电方式 以 0.4 kV 及以下电压实施的供电。低压供电方式分为单相与三相两类。单相低压供电方式主要适用于照明和单相小动力。单相低压供电方式的最大容量应以不引起供电质量变劣为准则; 当造成的影响超过标准时, 需改为三相低压供电方式。三相低压供电方式主要适用于三相小容量用户。中国在 20 世纪 50 年代规定, 用户变压器容量不超过 50 kV·A, 一般可采用三相低压供电方式。随着城乡用电负荷密度增长, 60 年代, 将采用三相低压供电方式的变压器容量提高到 100 kV·A, 70 年代又提高到 180 kV·A, 变压器容量等级调整后, 取消 180 kV·A, 改为 160 kV·A。

趸售供电方式 向趸购转售电能的单位实施的供电。从大电网趸购电能, 再向其营业区内用户售电的经营方式称为趸购转售。趸售供电方式是一种管理关系特殊的供电方式。中国在 1963 年颁发的《全国供用



电规则》中对此作出规定。到 1989 年底,中国已对 1176 个县实行趸售供电方式,趸售的电量已达 662.4 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

委托供电方式 公用供电设施能力不足或公用配电网未到达的地区,为解决该地区一些用户的用电,供电企业委托该地区有供电能力的直供高压用户,代理向其他用户实施的供电。委托代理供电可发挥现有供电设备的闲置能力,缓解投资紧缺,及时解决用户用电急需,但不利于安全用电、计划用电、节约用电管理。

多电源供电方式 由两个及以上独立电源向一个用户实施的供电。多电源供电方式具有较高的供电可靠性,适用于有保安负荷的用户。

临时供电方式 向用电期限短暂或非永久性用电如基建施工、市政建设、抗旱打井、防汛排涝、集会演出等实施的供电。临时用电可提供高压电源,也可提供低压电源,具体以何种电压供电,主要取决于临时用电容量和当地的供电条件。中国规定临时用电一般不超过 6 个月,超过 6 个月时,需另行协商。

(徐纪法)

gongdian tiefei

供电贴费 (capital contribution of power supply)

新增用电户所分担的厂(场)外供电工程建设费用。供电贴费是解决城市和乡村电网建设资金的渠道之一。世界各国的城乡电网建设资金来源,都依照国家法令、行政法规或经政府批准(或同意)的电力企业规定的分担办法,由电力企业和申请用电户共同投资。其中主电网的骨干网架,一般由电力企业结合电源的布局和长远发展规划投资建设;随用户群的发展而逐步形成的高低电压配电网,一般由电力企业和用电户共同投资建设。双方资金的分担办法有两种模式:按工程实际造价分担模式和供电贴费模式。

按工程实际造价分担模式 这种模式按新用户用电而引起供电工程实际造价计算分担城乡电网建设资金。采用这种模式的国家有日本、加拿大等。他们的共同点是:①以供电工程标准设计需要费用为基础计算分担额,如用户提出超过标准要求,其增加投资部分全部由用户负担;②用户在供电工程建设前,先交付工程预付款,工程竣工决算后多退少补。其不同点是:有的电力企业按不同电压、容量、送电距离,承担一个固定的数额,余下部分由用户承担(如日本);有的由用户承担一个固定数额,余下部分由电力企业承担(如韩国);有的按工程决算双方各承担一个固定比例(如法国)。

日本的具体做法:政府批准各电网引入不同电压的用户由电力企业承担新用户供电工程投资的限额,

根据向用户提供的供电设备是一般供电设备还是特殊供电设备而异。属于一般供电设备,凡超过电力企业应承担资金限额的部分由用户负担;特殊供电设备(根据用户要求超过标准设计的设备、备用供电设备、专用供电设备等)原则上全部由用户投资。

加拿大的具体做法:安大略水电局(Ontario hydro, Canada)对有新增加电工程的用户,根据该用户需要的送电距离和利用该工程同时申请用电户的数量,以新增工程决算为基础,对具体用户分别按送电距离核定其供电贴费收取额,投入运行后,当该地区又有新增用户时,再向新用户核收贴费并相应退还原用户由于分摊工程费用户数增多应核减的贴费,但退还时要扣除已折旧部分的资金。

供电贴费模式 这种模式由电力企业向申请用电户按申请容量收取供电贴费,统一建设供电工程。采用这种模式的国家有中国、匈牙利等,他们的共同点是按照用户申请用电的不同电压,分别规定每千伏安($\text{kV} \cdot \text{A}$)[或千瓦(kW)]申请用电容量应向电力企业缴纳的贴费标准,由供电企业统一建设供电工程供电。不同点是:用户申请用电有供电工程时,全部工程由用户投资,不收贴费,无供电工程时,用户按标准交付贴费作为公用供电工程占用费(如匈牙利);有的是不论有无供电工程,均由用户交纳统一标准数额的贴费,由电力企业统一建设供电工程(如中国)。

中国执行供电贴费模式沿革 中华人民共和国建国后,根据当时在计划经济体制下一般城市电网配电电压等级和国民经济各部门合理划分投资责任的原则,曾规定按电网电压等级区分投资责任,其中电压为 10 kV 及以下的供电工程,均由申请用电的用户投资建设。在实际执行中,由于 10 kV 及以下电压供电的用户大部分是从公用配电网引入电源的,先申请的用户承担了本级公用电网的建设资金而当公用电网建成后,本供电设施内再申请用电的用户就可不承担或很少负担建设资金,显然不够公平合理。为此,从 1963 年起,对 10 kV 及以下公用及专用配电网的建设,采取由电力部门向用户按照申请用电容量和统一的贴费标准,收取供电贴费并负责供电。随着国民经济的发展,新的大电力用户不断增加,用户用电容量和引入电压等级不断升高,110 kV 电网已经成为城市配电网,10~110 kV 电压的申请用电户也出现过去 10 kV 及以下电压用户同样的问题,因此,从 1982 年起,中国把供电贴费模式扩大到 110 kV 以下的用户,1993 年又扩大到 110 kV 的用户。

中国实行供电贴费的规定 中国供电贴费的收取标准和管理办法是经中华人民共和国国务院批准,国家计划委员会于 1993 年颁布实施的。规定中的主要



内容是：在 380/220V，10，35，63，110kV 五种电压受电的用户申请用电时，每千伏安（千瓦）应交贴费的标准额；用户自建本级电压供电工程时应交付贴费的标准额；临时用电用户要预付贴费，待用电结束后，视用电时间长短退还全部或部分贴费的比例；部分非盈利的公用福利型用户减少贴费的办法；申请多路电源供电的用户，每路电源分别交付贴费的标准；经济特区以及涉及电缆线路供电需要提高贴费标准的审批办法等。

（顾嘉棠）

gongdian zhiliang

供电质量（energy supply quality） 供电质量包括电能质量与供电可靠性两个方面。电能质量可用电压质量和频率质量来衡量。供电质量不合格，会使用电设备的性能恶化（如设备的效率和功率因数降低，电能损耗增加，使用寿命缩短）；自动远动装置及电子设备工作失常；生产机械生产效率下降、产品质量变劣。供电质量严重不合格时会使产品大量报废，甚至危及设备与人身安全。

随着科学技术的发展和对电的依赖程度的增加，供电质量已普遍被世界各国所关注。苏联、英国、日本、法国、联邦德国、澳大利亚、南斯拉夫、巴西等国家，先后对电能质量规定了标准。中国在 1947 年 12 月 10 日由中华民国政府颁布的《电业法》中，对供电电压与频率质量作出规定。1953 年中华人民共和国国务院财政经济委员会批准的《全国供用电规则》中，规定了用户端的电压与频率质量标准。1980 年在 GB1980《电气设备额定频率》中，规定了频率允许偏差。1990 年又发布了 GB12326《电能质量 电压允许波动和闪变》和 GB12325《电能质量 供电电压允许偏差》两个国家标准。

电能质量 是指供应到用户受电端的电能品质的优劣程度。通常以电压偏差、电压波动和闪变、电压正弦波形畸变率、负序电压系数、频率偏差等指标来衡量电能质量。

电压偏差 在某一时段

内，电压幅值缓慢变化而偏离额定值的程度，以电压实际值与额定值之差或其百分比值来表示，即

$$\Delta U = U - U_N$$

或

$$\Delta U = \frac{(U - U_N)}{U_N} \times 100\%$$

式中 U 为检测点的电压实际值，V； U_N 为检测点的电压额定值，V。

供电电压的实际偏差取决于电力系统的运行方式、供电阻抗和有功与无功负荷的变化。

（1）影响。电压偏差对用电设备性能的影响见表1。

（2）标准。为将电压偏差产生的影响控制在可接受的范围内，一些国家、地区和组织对供电电压规定了允许偏差，见表 2。

（3）改善措施。改善电压偏差的主要措施有：①正确选择变压器的变压比和电压分接头；②合理减少线路阻抗；③提高自然功率因数，合理进行无功补偿，并按电压和负荷变化自动调整无功补偿容量；④根据电力系统潮流分布，及时调整系统运行方式；⑤采用有载调压手段，如采用有载调压变压器。

电压波动和闪变 在某一段时间内，电压急剧变化而偏离额定值的现象，称为电压波动。通常电压变化的速率大于每秒 1% 的，即为电压急剧变化。电压波

表 1 电压偏差对用电设备性能的影响

电气设备名称	与电压的关系	对性能的影响	
		电压偏差-10%	电压偏差+10%
异步电动机			
起动转矩、最大转矩	U^2	-19%	+21%
滑差	U^{-2}	+23%	-17%
起动电流	U	-(10%~12%)	+(10%~12%)
满载电流		+11%	-7%
温升		+(6%~7%)	-(3%~4%)
同步电动机			
最大转矩	U	-10%	+10%
电热设备			
输出热能量	U^2	-19%	+21%
白炽灯			
光通量	$\approx U^{3.4}$	-32%	+39%
寿命	$\approx U^{14}$	+330%	-70%
气体放电灯			
荧光灯光通量	U^2	-20%	+20%
寿命		+35%	-20%
高压汞灯光通量	$\approx U^3$	-27%	+30%
金属卤化物灯光通量	$\approx U^2$	-27%	+30%
高压钠灯光通量		-37%	+50%
移相电容器			
输出无功功率	U^2	-19%	+21%

表 2 一些国家、地区和组织对电压允许偏差的规定

国家与组织	电压允许偏差
国际电工委员会 (IEC)	对 100~1000V 交流供电系统为 ±10%
国际发供电联盟 (UNIPED)	对低压供电网为 ±10% (230/2000V 系统)
美国 全国 费城	未规定, 一般为 ±5% 动力为 ±10%; 照明为 ±5%
苏联	1kV 及以下为 ±5%, 最大允许为 ±10%; 6~20kV, 短期允许最大为 ±10%
日本	101V 为 ±6V, 202V 为 ±20V,
联邦德国	城市为 ±3%, 农村为 ±10%
英国	240V 为 ±6%
法国	中压供电网为 ±7%, 低压电缆供电为 ±5%, 架空线供电为 ±7.5%, 其他为 ±10%
意大利	±10%
瑞典	无全国规定, 一般为 ±5%, 最大为 ±10%
瑞士	无全国规定, 一般为 ±5% 以下
荷兰	±10%
奥地利	无全国规定, 实际为 ±10%
南斯拉夫	±10%
波兰	城市为 ±5%, 其他地区为 ±10%
捷克斯洛伐克	无全国规定, 实际为 ±5%
匈牙利	+5%, -10%
罗马尼亚	±5%
挪威	无全国规定, 城市为 ±5%, 其他为 ±10%
丹麦	无全国规定, 实际白天为 ±10%, 夜间为 ±5%
芬兰	无全国规定, 城市为 ±5%, 其他地区为 ±10%
巴基斯坦	650V 以下为 +5%, 650V 以上为 12.5%
中国	照明为 +5%, -10%, 10kV 及以下为 ±7%; 35kV 及特殊供电上下偏差之和不超过 10%

动程度以电压急剧变化过程中相继出现的电压最大值与最小值之差或其百分比值来表示, 即

$$\delta_U = U_{max} - U_{min}$$

或
$$\delta_U = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_N} \times 100\%$$

式中 U_N 为额定电压, V; U_{max} 、 U_{min} 分别为某段时间内电压波动的最大值和最小值, V。

周期性电压急剧变化引起电光源光通量急剧波动而造成人眼视觉不舒适的现象称为闪变。

(1) 影响。电压波动主要是由于大型用电设备开停或负载急剧变化引起的冲击性负荷造成的。大型电动机开停及加减载、轧钢机轧钢、起重机提升、电弧炼钢炉熔化期工作短路、电弧焊机引弧、电力牵引机车运行都有冲击负荷产生。电压波动是否会引起闪变, 主要取决于电压波动的频度、波动量和电光源类型以及工作场所对照度的要求。偶然产生的电压波动, 即使是较大的电压波动, 如大容量电动机直接起动引起的电压波动, 对人眼视觉影响也是不大的, 但当电压波动的频率在 10~20Hz 时, 即使是很小的电压波动, 也会引起严重的闪变后果。

(2) 标准。为控制电压波动与闪变产生的影响, 一些国家对此进行研究并制订了标准, 见表 3。

中国从保证供用电安全出发, 为防止某些用电设备引起的电压波动造成保护误动作和使正常运行设备不受其影响, 也对电压允许波动值作出规定, 在 GBJ55《工业与民用通用设备电力装置设计规范》中, 对电动机全压起动的电压允许波动作出规定; 在 GBJ56《电热设备电力装置设计规范》中, 对三相电弧炉工作短路引起供电母线电压允许波动值也作出规定。1990 年国家正式发布的 GB12326《电能质量 电压允许波动和闪变》中对电压波动和闪变的规定见表 4。

(3) 改善措施。抑制电压波动和闪变的措施有: 增加供电系统容量, 提高供电电压等级, 采用专用变压器和专线供电; 改进生产操作工艺, 如多台电弧炉炼钢时, 错开熔化期和采用合理的炉料配比; 采用能快速响应的串并联无功补偿装置等。

电压正弦波形畸变率 在理想的状况下, 供电电压的波形应是正弦波形, 但由于电力系统中存在大量的具有非线性阻抗特性的用电设备, 即存在大量的谐波源 (见非线性负荷), 实际供电电压的波形已不再是正弦波, 这种现象称为电压正弦波形畸变。电压正弦波形畸变程度以电压正弦波形畸变率 DFU 表示, 即以各次谐波电压的均方根值与基波电压有效值之比的百分数表示

$$DFU = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (U_n)^2}}{U_1} \times 100\%$$

式中 U_n 为第 n 次谐波电压有效值, V; U_1 为基波电压有效值, V。

接入电力系统并向电力系统输入 2 倍于 50Hz 及以上频率电流的设备, 如电力变压器, 旋转电机, 采用



表 3 一些国家制订的电压允许波动和闪变标准

电压波动的形式	国 别	限 度	备 注
瞬时值 10Hz 等 值	联邦德国	0.4%~0.5%	3~8Hz
	澳大利亚	1%	110kV, 0.75%
	南斯拉夫	1%	220kV, 0.5%
	挪 威	0.5%	
	法 国	0.3%	
	意 大 利	0.3%	
	日 本	最大 0.45%, 平均 0.32%	
		最大 0.58%, 平均 0.45%	
	美 国	0.5%	
	巴 西	0.5%	
	阿 根 廷	0.5%	
	伊 朗	0.5%	
闪 变	英 国	132kV 及以下 0.25%	
		275kV 及以上 0.20%	
电弧炉额定容量 系统稳态短路容量	瑞 士	单台 1.2%~1.6% 两台 2%~2.7% 三台及以上 2.8%~3.7%	
短路电压降 (单台炉、多台炉需 换算为等值电炉)	英 国	2%	132kV 以上为 1.6%
	瑞 典	2.5%	2%~2.5%为可疑
	荷 兰	1.75%	两台为 2%
	南斯拉夫	2.5%	110kV 以上为 2%
	日 本	2%	
	巴 西	2%	
	伊 朗	2%	

表 4 中国对电压波动和闪变的规定

项 目	允许值 (%)	
	110kV 及以下	220kV 及以上
电压波动 (均方根值)	2	1.6
闪变 (10Hz 等效值)	0.5	0.4

表 5 英国谐波电压标准

负荷接入点的 系统电压 (kV)	谐波电压 总 值 (%)	单次谐波电压值 (%)	
		奇次	偶次
0.415	5	4	2
6.6, 11	4	3	1.75
33, 66	3	2	1
132	1.5	1	0.5

硅或晶闸管的整流、逆变、变频装置,电弧炉,电焊机,镇流器,电力牵引机车,斩波调压调速装置及电视接收机,微波炉等都是谐波源。

(1) 影响。电压波形畸变后,产生的高次谐波会引起:①电机铜损和铁损增加,可能引起局部过热;②电机的机械振动增大,噪声增强,引起工作环境噪声污染;③使电力电容器和电缆局部过热,加速绝缘老化或击穿;④使电子元器件工作失常,引起误动作或损坏;⑤使测量仪表误差变大,计量失真;⑥对电视广播和通信产生干扰。

(2) 标准。进入 20 世纪 60 年代以来,电力半导体技术迅速发展,使得接入电力系统中的谐波源大量增加,供电电压波形畸变日趋严重,世界各国投入大量人力进行研究和治理。英国、美国、日本、法国、西德、瑞士、澳大利亚、芬兰等国家和一些国际组织先后制订了谐波电压、电流标准,并提出测量和管理办法,见表 5~表 14。

中国在 1984 年 8 月 31 日,由中华人民共和国水利电力部颁发 SD126《电力系统谐波管理暂行规定》,1993 年 7 月 31 日国家技术监督局发布了 GB14549—93

《电能质量 公用电网谐波》。标准中对谐波电压限值和谐波电流允许值的规定见表 15、表 16。对接入电力系统的谐波源进行三级控制。第一级是单台设备容量不超过表 17 规定时,不经核定即可接入系统。第二级是接入的设备容量虽超过表 17 规定,但接入点的

表 6 美国 IEEE 导则关于谐波电压的规定

电 压 (kV)	专用系统* 谐波电压	一般电力系统 谐 波 电 压 (%)
0.46	10	5
2.4~69	8	5
115 及以上	1.5	1.5

* 专用系统是指只供电给换流器的供电系统或不会受电压畸变影响的供电系统。



表 7 联邦德国谐波电压标准

谐波次数	5	7	11	13
中压线路谐波电压限值	5次和7次 合计5%		11次和13次 合计3%	
中压线路的变换装置	3%	3%	2%	2%

表 8 澳大利亚谐波电压标准

供电系统 类型	公共供电 点电压 (kV)	总谐波 电压畸变 (%)	单次谐波电压 (%)	
			奇次	偶次
一次和二次 配电系统	415/240, 6.6, 11, 22, 农村 33	5	4	2
输电系统和 二级输电系统	22, 33, 66	3	2	1/
	110 及以上	1.5	1	1.5

表 9 芬兰谐波电压标准

电压等级(kV)	综合电压畸变(%)	单次谐波电压(%)
≤1	5	4
3~20	4	3
30~45	3	2
≥110	1.5	1

注：综合电压畸变和单次谐波电压均指1min的平均值。
芬兰还规定了一个用户通过公共点能够向电力系统注入的谐波电流限值。

表 10 日本对谐波电压的规定

电压 (kV)	各次谐波电压 含有量(%)	电压综合畸变率= $\sqrt{\frac{\sum U_n^2}{1+\sum U_n^2}}$ (%)
154 以上	0.5 以下	1.0
66 以下	1.0	2.0

表 11 日本谐波电流限值

谐波次数	5	7	11	13	17	19	23	25
限制值(A)	10.6	5.0	2.6	2.2	1.8	1.7	1.8	1.9

DFU 并未超过表 15 规定值的 75%，同时新接入设备向电网注入的谐波电流也不超过表 16 规定的，该设备也允许接入。第三级是当不能满足第二级规定的设备需接入电力系统时，事先对新设备接入系统所引起的谐波电压和注入谐波电流经过核算，超过标准的，在采取防治谐波的措施后，才准接入电力系统。

(3)改善措施。消除谐波的措施有：①受电变压器采用 Y, d 或 D, y 接线，或增加相数，改为多相整流，以减少注入电网的谐波电流；②采用滤波装置；③采用电容器吸收谐波电流；④调整三相负荷，使其保持三相平衡。

表 12 苏联谐波电压标准

电压等级 (kV)	标准允许值 (%)	最大允许值 (%)	奇次谐波电压 允许值 (%)
≤1	5	10	6
6~20	4	8	5
35	3	6	4
≥110	2	4	2

表 13 欧洲电气标准 EN50006 对谐波电压的规定

谐波次数	3	5	7	9	11	13
U_n (%)	0.85	0.65	0.60	0.40	0.40	0.30
谐波次数	15, 17, ..., 39		2	4, 6, ..., 40		
U_n (%)	0.25		0.3	0.2		

表 14 国际电工委员会谐波电流限值

谐波次数 n	2	3	4	5	6	7	9	11	13
I_n (A)	1.08	2.30	0.43	1.14	0.30	0.77	0.40	0.33	0.21

注：1. 当 $15 \leq n \leq 39$, n 为奇次谐波，则电流为
$$I_n = 0.15 \times \frac{15}{n}$$

2. 当 $8 \leq n \leq 40$, n 为偶次谐波，则电流值为
$$I_n = 0.23 \times \frac{8}{n}$$

表 15 公用电网谐波电压（相电压）限值

电网标称 电压 (kV)	电压总谐波 畸变率 (%)	各次谐波电压含有率(%)	
		奇次	偶次
0.38	5.0	4.0	2.0
6	4.0	3.2	1.6
10			
35	3.0	2.4	1.2
66			
110	2.0	1.6	0.8

负序电压系数 三相电压不平衡的程度用负序电压系数表示。负序电压系数为以三相基波负序电压的有效值与额定电压有效值之比的百分数，即

$$K_{2\%} = \frac{U_{2(1)}}{U_N} \times 100\%$$

$$U_{2(1)} = \sqrt{\frac{1}{12} \left[\sqrt{3} U_{AB(1)} - \sqrt{4U_{CB(1)} - \left(\frac{U_{CB(1)}^2 - U_{AC(1)}^2}{U_{BA(1)}} - U_{BA(1)} \right)^2} + \left(\frac{U_{CB(1)}^2 - U_{AC(1)}^2}{U_{BA(1)}} \right)^2 \right]}$$



式中 U_N 为额定电压有效值, V; $U_{2(1)}$ 为三相基波负序电压有效值, V; $U_{AB(1)}$, $U_{BC(1)}$, $U_{AC(1)}$ 为三相基波线电压实际值, V。

(1) 影响。三相电压不平衡是由三相负荷不平衡造成的。当不平衡的三相电压加于三相电动机时, 会使电动机产生负序电流, 产生阻尼力矩, 增加电动机转

子中的热损失, 造成电动机温升增高, 噪声增大。特别当一相开路时, 电动机处于两相运行, 在负载不变时, 将会烧坏电动机。

(2) 标准。中国对三相电压不平衡的负序电压系数尚未作出规定。苏联和国际供配电协会对负序电压系数规定的标准见表 18。

表 16 注入公共连接点的谐波电流允许值

标准电压 (kV)	基准短路容量 (MV·A)	谐波次数及谐波电流允许值(A)																							
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
0.38	10	78	62	39	62	26	44	19	21	16	28	13	24	11	12	9.7	18	8.6	16	7.8	8.9	7.1	14	6.5	12
6	100	43	34	21	34	14	24	11	11	8.5	16	7.1	13	6.1	6.8	5.3	10	4.7	9.0	4.3	4.9	3.9	7.4	3.6	6.8
10	100	26	20	13	20	8.5	15	6.4	6.8	5.1	9.3	4.3	7.9	3.7	4.1	3.2	6.0	2.8	5.4	2.6	2.9	2.3	4.5	2.1	4.1
35	250	15	12	7.7	12	5.1	8.8	3.8	4.1	3.1	5.6	2.6	4.7	2.2	2.5	1.9	3.6	1.7	3.2	1.5	1.8	1.4	2.7	1.3	2.5
66	500	16	13	8.1	13	5.4	9.3	4.1	4.3	3.3	5.9	2.7	5.0	2.3	2.6	2.0	3.8	1.8	3.4	1.6	1.9	1.5	2.8	1.4	2.6
110	750	12	9.6	6.0	9.6	4.0	6.8	3.0	3.2	2.4	4.3	2.0	3.7	1.7	1.9	1.5	2.8	1.3	2.5	1.2	1.4	1.1	2.1	1.0	1.9

注: 220 kV 基准短路容量取 2000 MV·A。

表 17 中国单台三相换流设备和交流调压装置接入电网的允许容量

用户供电电压 (kV)	三相换流器(kV·A)			三相交流调压器(kV·A)	
	3 脉冲	6 脉冲	12 脉冲	6 个晶闸管	3 个晶闸管, 3 个二极管
0.38	8	12	—	14	10
6 或 10	85	130	250	150	100

注: 因三相三脉冲换流器向低压电网注入直流电流, 所以必须经过适当的隔离变压器才允许接入 0.38 kV 电网。

平衡造成的。电力系统频率偏差达到某一数值时, 会引起下列后果: ①汽轮机的叶片发生共振而断裂; ②引起水泵、风机效率下降, 导致发电厂出力降低, 发电煤耗和厂用电上升; ③与转速有关的生产机械的产品产量和质量下降; ④自动远动装置误动作, 影响通信、广播传送质量; ⑤降低了电力系统应付事故的能力, 一旦遇到系统大的功率波动, 有可能导致系统稳定破坏。

表 18 国际供配电协会和苏联对负序电压系数的规定

国家与组织	负序电压系数
国际供配电协会 (UNLPEDE)	不大于 2%
苏联	一般为: 不大于 2%, 最大不大于 4%

(3) 改善措施。在接入单相用电设备时, 应将其均匀分配在系统各相上, 对由单相组成的三相设备, 如石墨化电炉, 要随时进行检测和调整, 保持三相负荷平衡工作。

频率偏差 频率偏差以实际频率与额定频率之差或其差值与额定值之比的百分数表示, 即

$$\Delta f = f - f_N$$

或
$$\Delta f = \frac{f - f_N}{f_N} \times 100\%$$

式中 f 为实际供电频率值, Hz; f_N 为额定供电频率值, Hz。

(1) 影响。频率偏差是发电能力与用电需求失去

(2) 标准。一些国家和组织的频率允许偏差标准见表 19。

在中国, 频率允许偏差在 GB 1980《电气设备额定频率》中规定为 $\pm 0.5\text{Hz}$, 在《全国供用电规则》中规定: “供电局供电频率的允许偏差: 电力系统容量在 300 万 kW 及以上者为 $\pm 0.2\text{Hz}$; 电力系统容量在 300 万 kW 以下者为 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。”

(3) 改善措施。防治电力系统低频运行的主要措施是: ①增加电力系统的发电能力以及调频手段; ②严格按照计划分配的指标用电, 控制电力电量的超计划分配和使用; ③认真落实调整电力负荷措施和办法。

供电可靠性 在某统计期内, 持续向用户供电

表 19 一些国家和组织对频率允许偏差的规定

国家或组织	频率允许偏差
苏联	额定允许为: $\pm 0.2\text{Hz}$ 最大允许为: $\pm 0.4\text{Hz}$
国际供配电协会 (UNLPEDE)	$\pm 1\text{Hz}$
巴基斯坦	不大于 4%

能力的量度。供电可靠性应与用户的用电性质相适应,中断供电会引起人身伤亡或造成环境严重污染、重要生产设备损坏、生产秩序长期不能恢复、社会公共秩序严重混乱的,要有尽可能高的供电可靠性。影响供电可靠性因素很多,有电源的数量、供电的回路数、电网的结构、供电设备质量、电力系统的运行方式及自动化程度、维护检修质量、人员素质和管理水平等。供电可靠性直接关系到供电工程投资,过高的供电可靠性会不适当地增加投入而造成浪费。因此,合理确定不同类用户的供电可靠性标准,是世界各国探索的问题。

供电可靠性以供电可靠率 K_c 来衡量。供电可靠率用某一统计期内,实际供电时间之和与本期全部时间比值的百分数表示,即

$$K_c = \frac{T_y}{T_s} \times 100\%$$

$$T_y = T_s - T_t$$

$$T_t = \sum_{i=1}^n t_i$$

式中 T_y 为统计期内实际供电时间之和, h; T_s 为统计期的全部时间, h; T_t 为统计期内停电时间之和, h; t_i 为统计期内每次停电的时间, h。停电时间包括:计划检修停电时间、事故停电时间、临时停电时间。

(徐纪法)

gongyongdian guize

供用电规则 (regulation of powersupply and demand) 供电与用电行为的规范。电能是一种特殊的商品,首先它是一种无形的商品,因而其供应方式与一般商品不同,需要有一定的供电网络,供应量需依据专用的表计来记录;其次,电能是一种不可储存的商品,使用与供应同时进行,供应者有随时满足使用者需求的责任,使用者须在用电前提出申请,并建设一定的供电设施后才可使用;第三,电能质量与供应者和使用者行为有关;第四,电能供应者在其供应区域中具有垄断性。为了适应电能的这些特点,须对电能的供应与使用的行为进行规范,以保障电能供应与使用中的安全,维护正常的供电与用电秩序,保护供用双方的合法权益。世界上所有的供电企业都有自己所依据的供用电规则。

供用电规则具有一定的法律效力,其法律效力一般是经法律授权的行政机关的批准而获得。日本各电力公司的供用电规则是依据日本《电气事业法》第 19 条第 1 款的规定制订,并经通商产业大臣认可而生效的;加拿大各电力公司的供用电规则是根据加拿大的《电力公司法》和《公用事业法》制订,并经法律授权的

地方议会批准而生效的;中国的供用电规则是由国家电力主管部门制订,经国家综合经济管理部门批准而生效的。

供用电规则一般包含总则、供电方式、用电申请、产权划分及维护、供用电安全、电能计量及电费、供用电合同以及附则等章节。总则订立有立法依据、适用范围、定义等条文;供电方式章主要有:供电电源的属性、供电方式确定的原则及各类供电方式适用对象等条文;用电申请章包括新装用电、增加用电或变更用电的手续、程序,用电资料;工程设计施工及费用负担等条文;产权划分及维护章主要有供电设施建成后,产权归属及划分,运行维护责任等条文;供用电安全章主要有供电设施检修配合、安全检查、供电事故调查处理等条文;电能计量及电费章主要有电能计量方式、计量误差处理、电价、抄表及收电费的规定等条文;供用电合同章主要有供用电合同订立、经济责任承担等条文;附则主要规定了生效日期、解释权限等条文。

中国的供用电规则 中国第一部供用电规则,取名《供用电暂行规则》,由中央人民政府燃料工业部制订,经政务院财政经济委员会于 1953 年 8 月 29 日批准生效,仅适用于燃料工业部所属电业局的供电区域。该规则共有十二章 112 条。1963 年水利电力部对《供用电暂行规则》作了修改,经国家经济委员会于 1963 年 9 月 23 日批准施行,取名为《全国供用电规则》,适用于水利电力系统及各省(直辖市、自治区)管辖的电业局的供电区域,共有十一章 96 条。1966 年水利电力部对 1963 年颁发实施的《全国供用电规则》进行修改,取名为《全国供用电规则(试行本)》,共八章 50 条,同时随正文附有四个附录及使用说明,这部规则没有批准机关;1972 年水利电力部对 1966 年版本再次作了修改,经国家计划革命委员会于 1972 年 7 月 24 日批准生效,取名为《供用电规则(试行本)》,内有五章 42 条。1983 年水利电力部对 1972 年版本又作了修改,经国家经济委员会于 1983 年 8 月 25 日批准生效,取名为《全国供用电规则》,章节有:总则、供电方式、新装增容与变更用电、设计安装试验与接电、供电质量与安全供用电、计划用电与节约用电、维护管理与产权分界、电度计量与收费、供用电合同与经济责任、违章用电与窃电、附则共十一章 87 条,并在其后附有《用电监察条例》(见用电监察)。水利电力部还对本版的条文单独编写了《全国供用电规则条文解释》。

日本东京电力公司供电规则 东京电力公司是日本九大电力公司之一。该公司根据日本《电气事业法》第 19 条第 1 款的规定,制订了《供电规程》,并经过通商产业大臣批准后执行。东京电力公司的《供电规程》

共有十章 88 条,其章节是:总则、供电合同的申办、合同种类及费用、电费的计算及支付、用电及供电、改变合同及合同终止、供电方式及有关工程、工程费用的负担、安全、附则。为细化《供电规程》,便于实际操作,该公司在 1989 年 4 月 1 日还公布了《供电规程执行细则》。

加拿大安大略省水电局的供用电规则 加拿大安大略省水电局供用电规则是根据《电力公司法》、《公用事业法》等法律有关条文制订。该规则分为:总则、供电方式、新装与增容、维护管理与产权分界、用户服务和安全供电、电表计量、电价与收费、合同与非合同供电、供电资产债务处理等九章共 68 条。

香港中华电力公司供用电规则 香港中华电力公司是香港地区三个供电公司之一。1985 年 1 月,新修订公布的《供电则例》,属供用电规则。该“则例”有:一般资料、供电条件、基本安全技术规定、电气装置则例、附录等章,共 68 条。规定的条文内容详细,都可操作,并对本公司职工也作出严格的纪律规定。香港中华电力公司对《供电则例》的修改是通过报刊登载,公布于众后执行的。

(刘振强 徐纪法)

gongyongdian hetong

供用电合同 (contract of electric power supply)

供用电双方法人之间为实现电力供应和合理使用,而明确相互权利、义务关系的协议。供用电合同是在用电前签订的,订立供用电合同是产生一定社会后果的法律行为。供用电合同依法成立后,当事人必须按合同规定全面履行自己承担的义务,不履行或不能完全履行合同时,应承担违约责任。在某些情况下,供用电合同允许变更或解除。签订供用电合同有利于维护正常的供用电秩序,促进双方改善经营管理,保护双方的合法权益。

在中国,20 世纪 50 年代称供用电合同为“用电契约”,60 年代才正式称为供用电合同。1981 年国家颁发《中华人民共和国合同法》,将供用电合同列为十类基本合同之一。

特征 供用电合同的标的是一种不可储存(产、供、用同时完成)的无形商品。电能的供应具有垄断性、公益性,电能的使用具有广泛性、随意性和不可替代等特性,在供应过程中发生的责任往往具有连带性,同时损害事实的举证又十分困难。因此,供用电合同与其他经济合同相比,有其明显突出的特征。

(1) 严格按计划订立的合同。不按计划发电或不按计划用电,都将导致电能供应平衡关系的破坏,轻者将引起电能质量下降,使部分用户生产经营活动受阻;

重者将引起大量拉闸限电,使社会经济秩序混乱,造成经济上严重损失。特别在缺电时期,这种危害性更为明显。为防止电能供求平衡关系的破坏,签订供用电合同必须严格按计划进行。在供用电合同中除按年计划确认一年供应的总量外,还必须按季度、月度计划确认每月每日的供应量。

(2) 有免除责任的经济合同。供电设施大都架设在野外露天,随时有遭受人或自然环境侵害的可能,发生意外事故(包括不可抗力、外力破坏、第三者责任等)很难预见,而且发生的概率也很高。这些不属于供用双方当事人过错而造成合同不履行或不能完全履行的责任,应当予以免除。

(3) 不按实际损失赔偿的合同。由于一方或双方违约而引起的经济责任,有的涉及面很广,损失数额巨大,如要按实际损失赔偿,供用双方当事人都将无力承担。同时,发生损害事实的举证又十分困难。因此,世界各国对违反供用电合同所引起的经济责任,都不采用按实际损失赔偿的原则,而采用按实际可能损失的电量及相应的电价进行赔偿。这样做的好处:一是避免了违约方赔不起而不愿订合同;二是避免损害举证上的困难与纠纷;三是简化损失计算方法,统一赔偿标准。

(4) 有连带责任的经济合同。电能质量不合格,有供电方的责任,也有用电方的原因,这种责任连带的现象,在其他经济合同中是少见的。

类型与形式 供用电合同依据其内容与格式,分为成文合同和不成文合同两类。成文合同又分为标准格式合同和特殊格式合同两种。不成文供用电合同如用电申请登记表、用电通知书、用电证等,依据供用电规则制订,普遍为标准格式,适用于用电量少,户数多,供电方式简单的低压照明和小动力用电。标准格式合同是事前按国家有关规定设计成文,按用电实际情况填入适当的内容,经当事人双方签章后成立,主要用于对供电要求不高或不会因用电引起电能质量问题的用户。特殊格式合同是供用双方当事人根据供用电的实际情况,临时协商成文的合同,主要适用于对供电数量、质量、用电时间等有特殊要求或供用电关系特殊的用户。这类合同有计划用电合同、供电质量合同、多电源供电合同、临时供电合同、趸购电合同、委托转供电合同等。

订立 当事人双方就供用电有关事宜,进行订约提议(要约)和接受提议(承诺)的协商过程。这个过程可能是一次协商即达成一致意见,也可能要多次反复协商才能取得一致意见。订立供用电合同应遵循:①自愿的原则,即任何一方不得将自己的意志强加给另一方,任何单位或个人不得非法干预;②合法的原则,即必须遵守国家的法律,符合国家政策和要求,在技术上

应符合国家标准和规定;③计划的原则,即符合国家计划的规定;④平等互利、协商一致、等价有偿的原则。合同当事人要有合法的资格。合同以书面形式表达。

供用电合同一般应包括下述内容:①供电方式,包括供电频率、电压、电源地址、电源数量、供电回路数;②用电方式,包括用电地址、电力用途、用电设备容量、用电负荷重要程度、用电班次及时间、用电功率因数、保安用电设备及负荷等;③供电数量,包括受电变压器及高压直供电动机容量和台数、计划用电的电力电量指标;④供电质量,包括频率质量、电压质量及供电可靠性;⑤计量及价款,包括计量点、计量装置、计费容量或最大需量,线损电量计算、电价、计费功率因数标准、电费结算方式等;⑥产权与维护,包括产权分界点、电气分界点、运行维护管理等;⑦调度与安全要求,包括由供电企业调度的设备及有关事宜、供用电安全要求、停送电联系等;⑧违约责任及承担方式,包括免除责任条款、承担责任的条款、损失计算、赔偿方式等;⑨履约期限及变更规定;⑩其他未尽事宜的规定。

履行 当事人按合同规定完成了自己全部义务,称为全面履行;由于主客观原因,当事人不能履行或到期不履行自己所承担的义务,称为不能履行;当事人虽然履行了一定的义务,但并未履行全部义务或在履行标的的数量、质量、时间、地点等方面不完全符合合同规定的要求,称为不能完全履行。供用电合同不能履行或不能完全履行时,将会损害国家和当事人双方的利益,有过错的一方应依法或按合同规定承担经济责任。在供用电合同履行中,当事人双方应贯彻实际履行、全面履行、协作履行的原则。发现原先订立的某些条款不明确或发生事先预料不到的情况,给合同的履行带来某些困难时,当事人双方应及时进行协商予以明确,如发生争议,需按国家规定协商解决或向合同管理机关申请仲裁,也可直接向人民法院起诉。

变更与解除 当事人双方对正在履行中的合同条款,依法进行修改或补充,而达成新的协议,称合同的变更。依法变更合同是一种合法行为。供用电合同的变更应在符合国家法律的前提下进行,经过双方协商,并履行法定手续后,才能生效。变更后的供用电合同对当事人双方产生新的权利义务关系,单方面擅自变更供用电合同是非法的,必须承担擅自变更合同而引起的法律责任。

在合同尚未履行或根本没有履行的情况下,就合同确定的经济活动予以终止,称合同的解除。合同解除后,由合同所产生的债务关系并不同时终止,而必须在承担了经济责任后,双方当事人的法律关系才能真正地消灭。解除供用电合同应征得对方的同意,并承担由

此而引起的法律责任。

遇有下列情况,允许变更或解除供用电合同:①经当事人双方协商同意,且不因变更或解除供用电合同而损害国家利益和影响国家计划的执行;②订立供用电合同所依据的国家计划被修改或取消;③当事人一方由于破产倒闭、停止生产、与其他企业合并或转产而确实无法履行合同;④由于不可抗力或由于一方虽无过失,但又无法防止的外因,致使供用电合同无法履行;⑤由于一方违约,使合同的履行对另一方来说已成为不必要时。

违约责任与承担方式 由于当事人的过错,使合同不履行或不能完全履行时,依法或按合同规定应承担的经济责任,称违约责任。违约责任是法律责任。承担违约责任的前提,是当事人双方之间确实存有法律效力的供用电合同关系,并有不履行或不能完全履行供用电合同的过错。过错属于谁,即须由谁承担违约责任。供用电合同违约责任承担的方式有:特殊违约金、赔偿、继续履行三种。

(1) 特殊违约金。按国家规定的电价,采用加价或减价的办法来承担违约责任,如电压或频率质量不合格时,供电方按平均电价的一定比例付给用电方违约金。

(2) 赔偿。当事人一方违约造成另一方损失时,不论产生的实际损失如何,一律按实际可能损失的电量及相应的电价的若干倍的价款来承担违约责任。这种以赔偿来承担违约责任的好处是举证容易,损失计算简便,计算标准统一,供用双方都有能力承受。赔偿对供用电合同的履行能起到很好的预防、监督和惩罚作用。

(3) 继续履行。违约方在偿清了违约金或赔偿以后,根据另一方的要求,在合同有效期限内,违约方应继续承担没有尽到的义务,这就是继续履行。继续履行对保证国家计划完成起到了违约金或赔偿所起不到的作用。

纠纷处理 当事人双方对供用电合同履行情况或不履行的后果产生争议,称供用电合同纠纷。解决供用电合同纠纷的方法有:当事人自行协商解决;合同管理机关的调解或仲裁;人民法院审理。

(1) 当事人自行协商解决。这是当事人双方自己解决合同纠纷的办法。自行协商解决要在平等的法律地位上,按国家有关政策、法律和计划的要求去进行。协商中应互谅互让,达成的协议要合法、合理。自行协商不成时,任何一方均可向合同管理机关申请调解或仲裁,也可直接向人民法院起诉。

(2) 合同管理机关的调解或仲裁。供用电合同当事人在知道自己的权利受到侵害之日起一年之内,可



以向合同管理机关书面申请调解或仲裁,超过期限合同管理机关将不予受理。合同管理机关接到申请调解情况后,通过对双方当事人的说服教育,使当事人互谅互让,自愿达成协议的,合同管理机关将制作调解书,即作为供用电合同履行的依据。调解书一经送达当事人,当事人应当执行。当事人不愿调解或调解无效,或调解成立后又反悔的,任何一方都有权申请仲裁或向人民法院起诉。

合同管理机关接到申请仲裁的请求后,对供用电合同争议将依法作出有约束力的裁决,并制作仲裁决定书。仲裁决定书是当事人争议解决的凭证,也是供用电合同履行的依据,当事人一方或双方对仲裁不服的,可在收到仲裁决定书之日起 15 日内向人民法院起诉,期满不起诉,裁决即具有法律效力。

(3) 人民法院的审理。人民法院对受理的供用电合同争议案件,将以事实为依据,以法律为准绳,重证据、重调查研究,依法进行供用电合同纠纷的调解或作出判决。

日本的供用电合同 分为标准合同和特约合同两类。

日本各电力公司都有自己制订并经通商产业大臣批准的《供电规则》。在《供电规则》中,对供用电合同的订立、变更、解除、终止、违约责任、合同期限等都有明确规定。标准合同就是依据《供电规则》制作,并受其约束的标准格式合同。用户要求申请用电时,首先要承认《供电规则》,在此基础上,根据用户用电容量,用电性质和供电条件等,确定其适合的标准合同的类别。标准合同的类别如表所示。标准合同中的主要内容有:合

准合同经电力公司认定之日起生效。

当出现不能依照《供电规则》制订合同的特殊情况时,根据《日本电气事业法》第 21 条规定,取得通商产业大臣的认可,对于一些特殊的用户可签订特约合同,如用电时间特约合同、负荷调整特约合同、定时调整特约合同、工业用电夏季停运特约合同、业务用电特约合同等。

法国的供用电合同 采用统一的标准格式合同。依据供电电压的不同,将供用电合同分为第一类合同与第二类合同两种。第一类合同适用于高中压供电的用户,第二类合同适用于低压供电的用户。用户在申请用电、办理用电业务工程中,法国电力公司根据其供电电压的高低,与用户签订相适应的供用电合同,作为供用双方共同遵守的法律依据。

第一类供用电合同的条文分为通用部分和特殊部分。通用部分条文适用所有高中压供电的用户,特殊部分条文适用于对供电有特殊要求或用电有特殊性的用户。通用部分条文内容包括:合同事由、受电装置及其接线、供电可靠性、计量方式、合同负荷、电价、电费保证金、捐税付款、合同有效期等。

第二类供用电合同的条文比较简单,有申请事由、用户名称与地址、用电报装容量、电价种类、电费与付款方式、双方应承担的责任等。

参考书目

徐杰主编,《经济合同法基本原理》,北京:法律出版社,1986

(徐纪法)

gongyongdian xieyi

供用电协议 (agreement of electric power supply)

供用双方当事人为明确供用电事宜上的关系和相互责任,而协商达成的一致意见。供用电协议是用户在用电前与供电企业签订的。签订供用电协议是一种民事法律行为,协议依法成立后,供用双方在供用电事宜上的权利义务关系和责任即已确立,不按协议规定承担义务的,违约方需承担相应的民事责任。订立供用电协议要遵守国家的政策和法规,符合国家有关的技术标准和规定,遵循自愿、公平、等价有偿的原则,在不违背社会公德、不损害社会公共利益、不妨碍正常供用电秩序的前提下进行。供用电协议以书面形式表达,有标准与非标准两种格式。

在中国,供用电协议是依据《全国供用电规则》的规定签订的,其类型、内容、变更、解除等完全受供用电规则的约束。

类型与内容 常见的供用电协议有:电费结算协议、委托维护协议、委托转供电协议、趸购电协议、并网

日本合同类别

用电 区分	合同类别		用电 区分	合同类别	
电 灯 用 电	包 灯		电 力 用 电	低压电力	
	表 灯	甲		高压电力	甲
		乙			乙
		丙		特别高压电力	
	临时表灯	甲		临时电力	
		乙		农业用电力	
		丙		备用电力	甲
	公用路灯	甲			乙
		乙			丙
灯力 并用	非生产用电力			深夜电力	甲
					乙

同类别、供电方式、受电地点、用电地点、供电电压、合同受电设备、合同容量(或电流与电力),产业种别、电力用途、用电起始日期、用电期限、电费付款方式等。标

协议、多电源供电协议、临时供电协议、供电可行性协议、供电质量协议、电能代销协议、调度协议、产权移交协议等。上述协议可单独签订,也可若干个内容合并签订,还可将上述协议内容纳入供用电合同中确认。

(1) 电费结算协议。供用双方为明确用电数量的计量及贸易结算方面的关系和责任,而协商达成的一致意见。签订电费结算协议应符合国家有关计量、电价和电费结算的规定,在协议中须确认:计量点、计费计量装置、计费容量或最大需量、用电功率因数、电价、电费计算方法、电费支付方式、电费交付期限、迟缴电费责任等。

(2) 委托转供电协议。供电企业与委托代理供电的用户之间,为明确委托代理供电的有关事宜和责任,而协商达成的一致意见。实行委托代理供电,必须以受委托的用户确有多余的供电能力、并表示愿意接受代理供电为前提。委托供电的用户在代理的权限内,以供电企业的名义实施供电,供电企业对委托供电的用户的代理行为,须承担民事责任。依据法律规定或双方当事人的约定,须由供电企业实施的供电行为,不得委托用户代理。委托转供电协议须规定:委托代理供电的范围、期限、代理供电的容量、转供费用、计量方式、电费结算方式、产权划分及维护管理、停电操作、供电事故处理等。

(3) 趸购电协议。供电企业与趸购电单位之间,为明确相互在趸购电事宜上的关系和责任,而协商达成的一致意见。趸购电单位具有用户与供电企业的双重性。在趸购电协议中,趸购电单位是供电企业的一个特殊用户,享有一般用户的权利和义务。趸购电协议中须规定:趸售的地域范围、趸购电容量、产权划分及维护管理、趸购增容规定、电价及电费计算、趸购电功率因数、调度通信、事故处理、其他供电安全技术等。

(4) 并网协议。供电企业与申请并网的单位之间,为明确发电厂并入电网运行而发生的供电关系和责任,经协商达成的一致意见。用户的自备发电厂、地方建设的独立的小水电站、小火电厂以及其他独立发电厂,为向电网卖电或为保证发电厂的运行安全,拟并入电网运行时,应向供电企业提出并网申请,并具备并网条件,经签订并网协议后,方可并网。并网协议中须规定:并网发电厂容量、并网点,并网电厂运行方式、并网操作、责任分界点、计量方式、电价及电费结算方式、调度通信、事故处理、解网条件及责任。

(5) 多电源供电协议。供电企业与有多个电源供电的用户之间,为明确多电源供电所引起的供电安全、技术经济和有关责任,经协商达成的一致意见。多个电源同时向一个用户供电,其目的是为了满足不同用户对供电可靠性的需要。多个电源中的任意一个电源都应满

足独立电源的要求。在多电源供电协议中应明确:电源点、受电点、主电源及备用方式、用电容量、保安负荷与设备、责任分界点、运行方式与维护责任、调度通信、事故处理及责任、禁止的供电行为。

(6) 临时供电协议。供电企业与非永久性用电的单位之间,为明确短暂性用电所发生的供用电关系和责任,而协商达成的一致意见。市政施工、基建工地、防汛排涝、抗旱打井等用电都属于临时用电。在临时供电协议中须规定:临时用电地址、用电时间、临时使用的设备及容量、供电电压、电价及电费结算、临时供电设施的产权处理,以及其他责任。

变更或解除 供用电协议从成立之时起即具有法律约束力,当事人须按协议约定,全部履行自己的义务。但发生下列情况之一者,允许变更或解除协议:①经当事人双方协商同意,且不因变更或解除协议而损害国家和公共利益的,如用户申请增容、减容、迁移用电地址等;②订立协议所依据的国家标准、规定、办法、计划等被修改或取消;③由于发生了无法预料和防止的外因,使协议无法继续执行时。当事人一方要求变更或解除协议时,应及时通知对方,对方应予配合。当事人一方发生合并、分立时,由变更后的当事人承担或分别履行协议约定的义务。供用电协议的订立,不因承办人或法定代表人的变更而变更。

(余义满 徐纪法)

guangdian huaxue dianchi

光电化学电池 (photoelectrochemical cell)

用浸于电解质溶液中的光敏半导体电极构成的化学电源,又称液结太阳电池,简称湿式电池,是太阳能电池中的一种。

光电化学电池的负极为用半导体制成的光照电极,正极为惰性多孔金属电极,浸在氧化、还原电解液中构成电池。当光照在半导体负极上时,半导体吸收大于其能带宽度的光子,产生电子-空穴对,半导体-电解质溶液界面的电场将电子-空穴对分离,电子经外电路流到正极,使氧化性离子还原,空穴扩散到电极和电解液的界面,使还原性离子氧化。于是,电子既在外电路中做功,又在电池中维持着电化学氧化、还原两反应的不断进行。

在光负极为单晶磷化铟、电解质为溶于稀盐酸中的二氯化钨和三氯化钨溶液,并构成离子对。当光照在P型磷化铟电极上并接通外电路时,被释放的电子从负极经外电路、正极、电解液回到负极,形成闭合回路,在两电极和电解液接触的界面上,发生并维持着电化学氧化、还原反应。这种电池的效率为11.5%。

(崔淑玉)



guangdian zhaoming kongzhi

光电照明控制 (photoelectric lighting controlling) 指利用光信号的作用而实现的对光源启闭和明暗度的调节。其控制原理如图 1 所示,利用不同的光敏元件的光电转换效应,把不同性质的光信号转换为电流,通过放大器、控制器来实现对光源的控制。



图 1 光电照明控制原理

常用的光敏元件有光电池、光敏电阻、光敏二极管、光敏三极管等;放大器一般采用晶体管线路或集成运算放大器构成;控制器可采用继电器、接触器或晶闸管等元器件。

光电照明控制主要分为自然光控开关、人为光控开关和红外光控开关。

自然光控开关 多用于需要夜开昼关的照明自控场所,尤其适用于道路、广场、工地、庭院、畜牧场、鱼池诱虫、标志、指示、航标、障碍等照明。图 2 所示

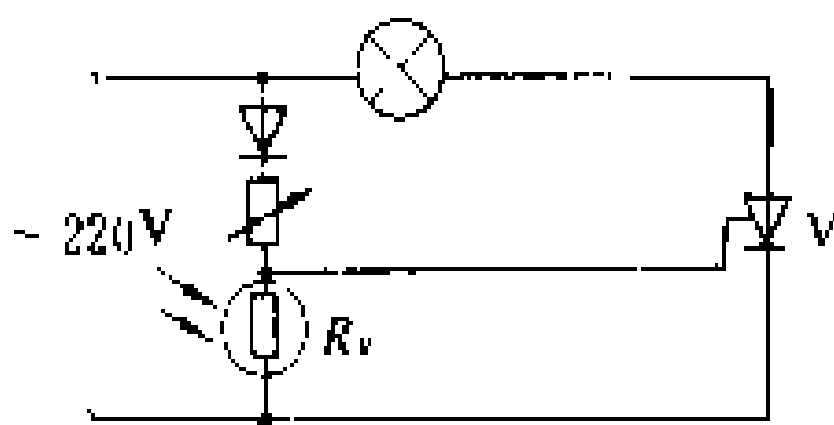


图 2 简单光控开关回路

是一个简单的光控开关回路。其中 R_v 是一只光敏电阻,利用光敏电阻阻值随环境照度变化而大幅度变化的特性,控制晶闸管

V 的导通与截止,从而实现晚上自动开灯,白天自动关灯之目的。

在自然光控开关基础上,增加声控(见音频照明控制)、微波、超声波、人身热辐射、定时等控制功能,可制作成理想的延时开关。这里自然光的作用是为了保证白天或环境达到一定照度时,使光源处于关闭状态。只有在夜间或环境照度低于人为要求时,靠声波、超声波、微波或人身热辐射等作用打开光源,经过一定时间,由于定时电路的控制,使光源自动关闭。图 3 所示,

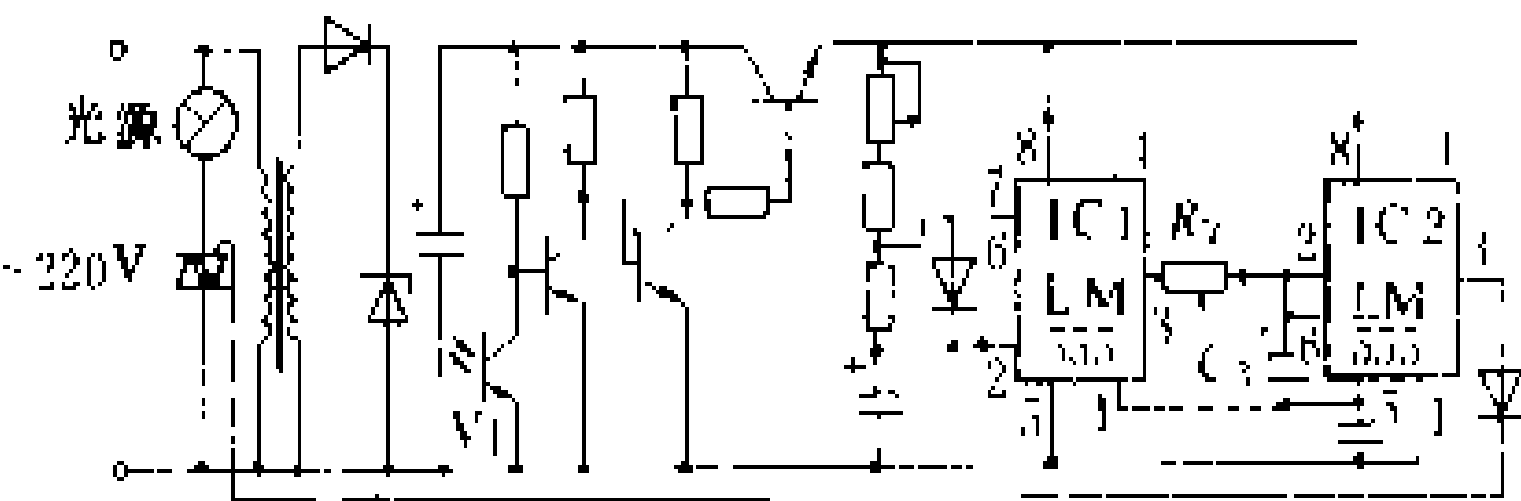


图 3 光控定时开关电路

是一个具有光控、定时功能的照明控制回路。由于光电三极管 V_1 的作用,使光源白天熄灭,夜间自动点亮,光源被点亮后,在 IC_1 、 IC_2 、 R_7 、 C_3 等构成的定时电路作用下,数小时后自动熄灭。调整 R_7 和 C_3 可改变定时时间的长短。这种光控开关可用于不需通宵照明的场

合。

自然光控开关与微电脑控制相结合,可实现复杂的时序照明控制(见定时照明控制)。

自然光控开关与调光控制相结合,可达到光控调光的目的。典型电路如图 4 所示。当光敏电阻 R_v 周围的照度发生变化时,在三极管 V_1 和单结晶体管 V_2 的作用下改变单向晶闸管 V 的导通角,使光源亮度得到调整。采用多个光控调光开关可组合成理想的自动调光系统,用于高级办公室、工作间、教室、灯光运动场、航海、航空障碍照明等对光照度有恒定要求的场所。

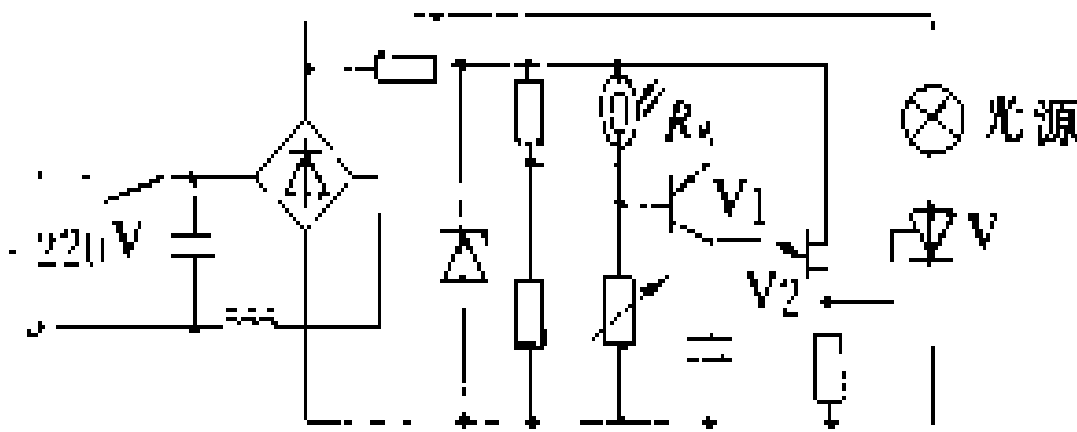


图 4 光控调光电路

人为光控开关 靠人为发射的光信号来控制照明光源的点亮和熄灭,通常也称为光电遥控开关。它是在

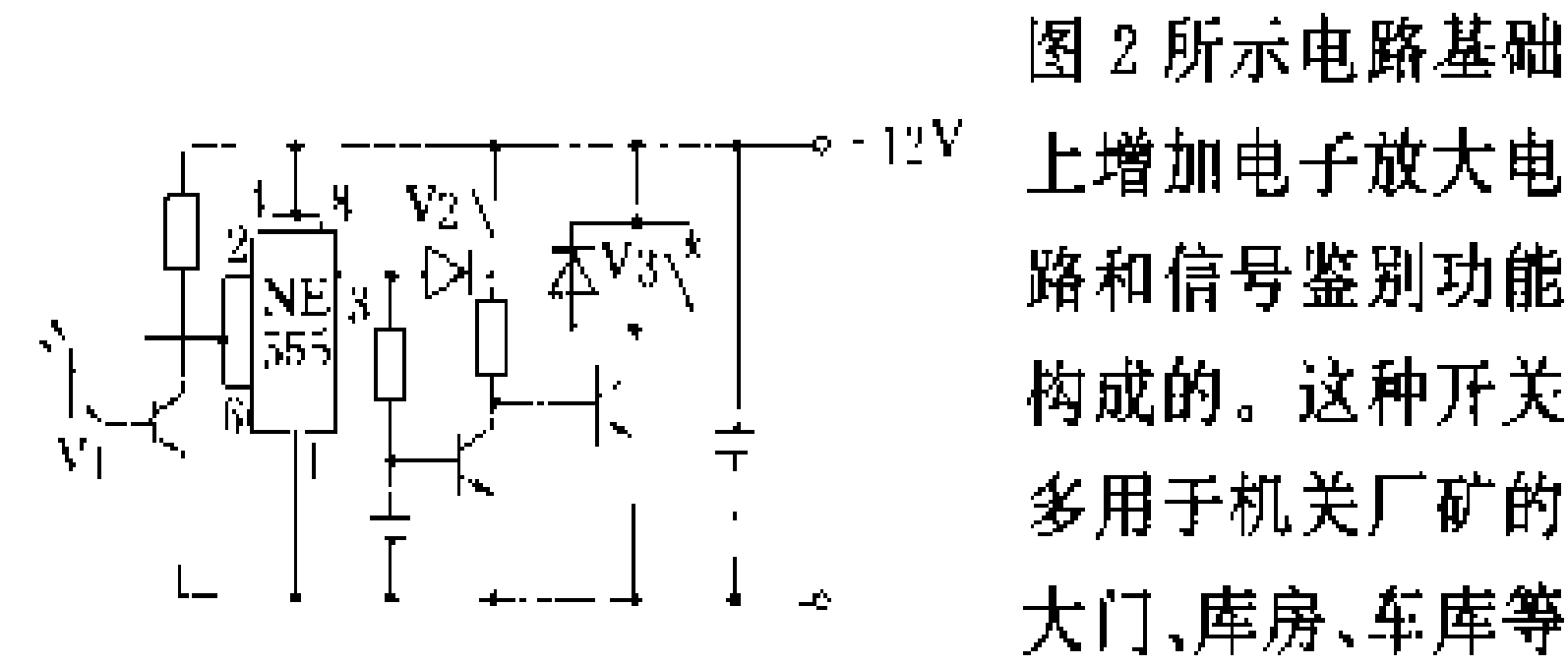


图 5 光电遥控电路

图 2 所示电路基础上增加电子放大电路和信号鉴别功能构成的。这种开关多用于机关厂矿的大门、库房、车库等的照明控制。典型

电路如图 5 所示。它是以手电筒发射的光来控制光源的点亮和熄灭;把手电筒对准 V_1 ,短时间按一下即可点亮光源,照 2s 以上即可使光源熄灭。

红外光控开关 利用人为制造的红外光或人体固有的红外辐射控制照明光源的点亮和熄灭。红外光是一种在可见光谱红色端以外,人眼看不见的光线,是介于可见光与无线电波波长之间的一种电磁波。自 20 世纪 80 年代以来,热释红外传感器件的诞生和发展,使红外控制在照明领域中得到了广泛应用。开关方式有遮挡式、遥控式、感应式三种。

(1) 遮挡式:典型的开关电路如图 6 所示。图中红外发光二极管 V_1 与光敏三极管 V_2 构成一路光控电

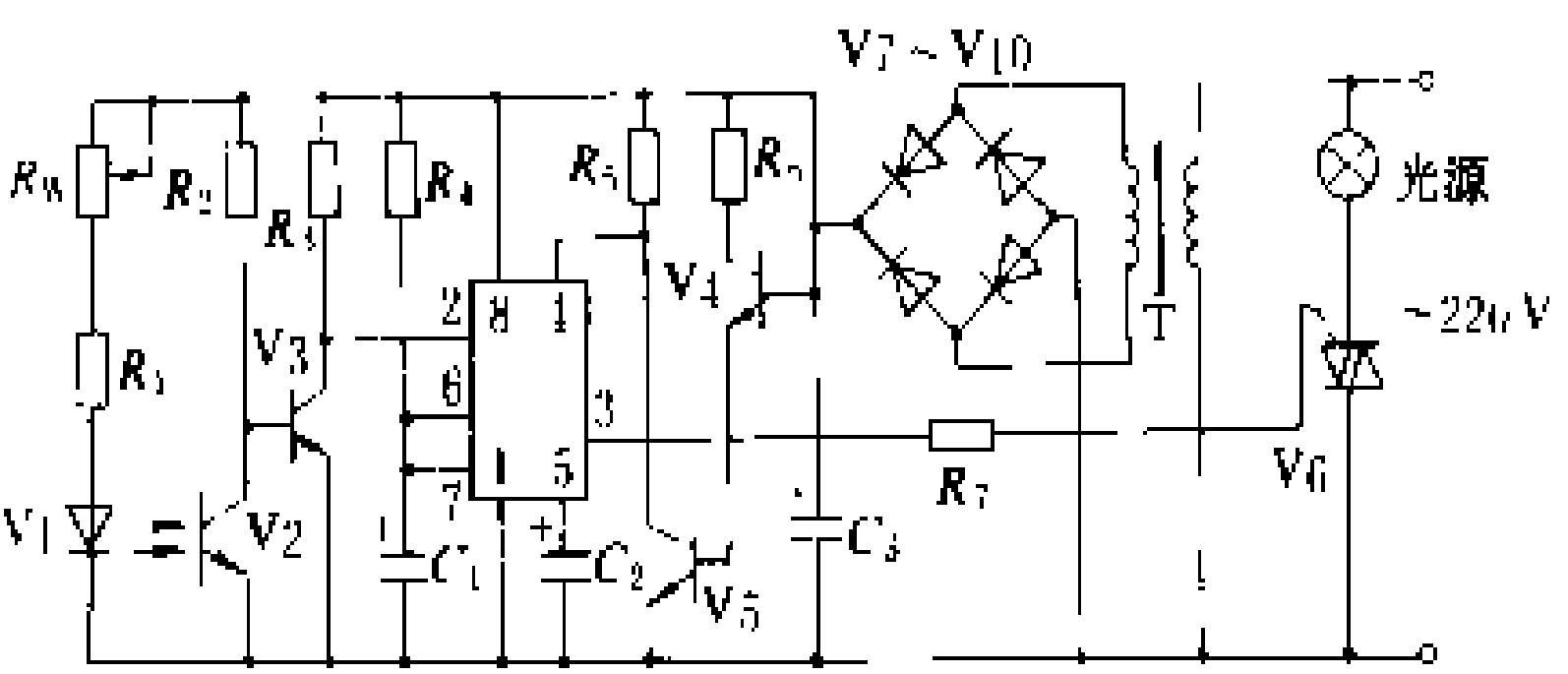


图 6 遮挡式红外光控电路



路,将 V1 与 V2 分别置于楼道或出入口两边,当有人经过时,V1 发射的红外光被遮挡,V2 因失去光照而产生光电效应,通过线路作用触发双向晶闸管 V6 导通,点亮灯泡 R_L ,经延时灯泡自熄。图中光敏三极管 V4 与自然光构成另一路光控电路,用于避免在光照较强的白天点亮光源。

(2) 遥控式:有单通道遥控和多通道遥控之分,均由发射机和接收机两部分组成,是利用红外光的作用,远距离调节光源状态的一种开关,多用于人们开关不方便的场所或家庭卧室。

单通道遥控开关的典型电路如图 7(a)和图 7(b)所示。图 7(a)为发射机,每按动一次 K 就有一组具有一定频率和占空比的红外脉冲信号从红外发光二极管 V 向外辐射。接收机一般由传感器、放大器、整形电路、驱动电路和开关电路等组成,如图 7(b)所示。其中传感器应选用对红外光最敏感、响应波长与发射光波长相重合的光敏二极管或光敏三极管,每当它接收到一组发射机发出的红外脉冲信号时,经过放大、整形后驱动开关电路,对光源实施一次开或关的控制。

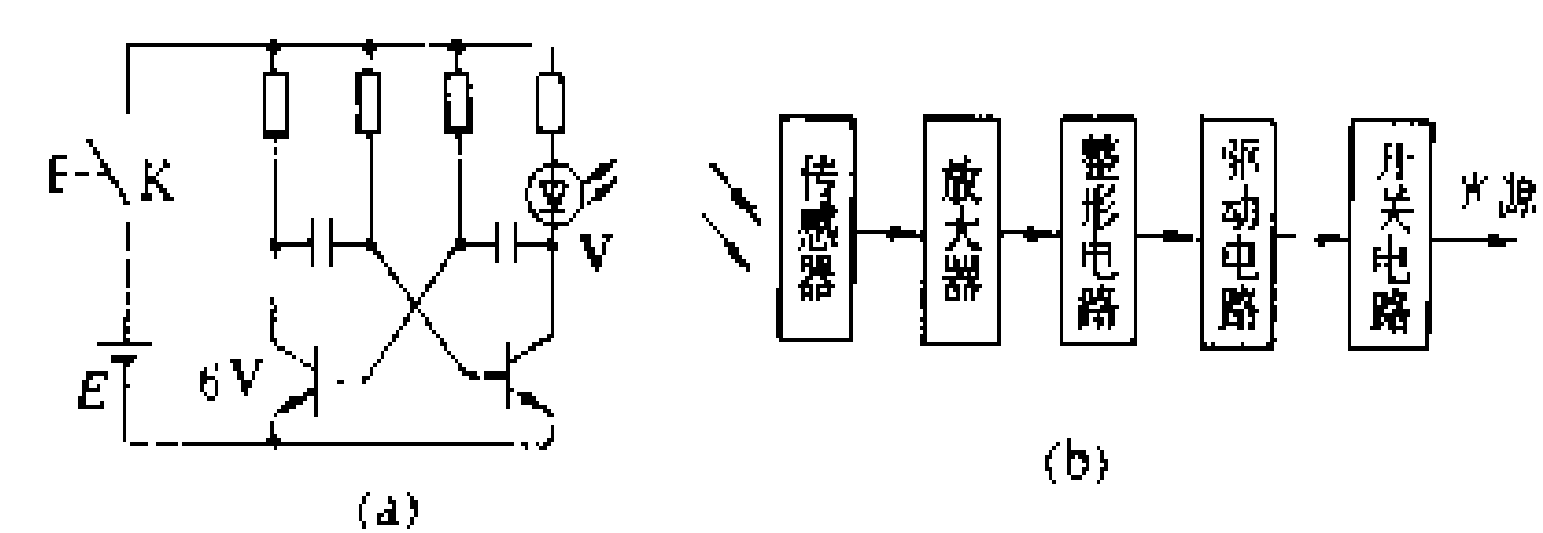


图 7 单通道红外遥控原理

(a) 红外线发射机;(b) 红外线发射机开关电路

多通道遥控开关的发射机和接收机一般都采用了红外遥控专用集成芯片或单片微机,使得开关功能多、用途广、制作简单。其遥控开关数量和功能可由几项至几十项,控制距离一般在 10m 左右。如果对发射管和接收传感器进行聚光、透镜、滤光等处理后,控制距离很容易增加到 40~50 m。

(3) 感应式:这种开关是利用人体辐射的远红外线强度的变化来控制照明灯的点亮和熄灭。该开关由传感器和控制器两部分组成。其工作原理是借助于经过滤光、聚焦等特殊工艺处理的、仅对人体辐射红外线敏感的红外探测器检测人体辐射的红外线,经控制器放大、滤波、整形、运算分析后驱动主开关,达到自动控制照明设备的目的。为防止在光线充足时点亮电灯,在控制器中还加有以光敏三极管为主要元件的光控电路。使用这种开关,在其控制的照度区域内,可实现有人灯亮、无人灯灭的自动照明控制,适用于人群经常活动的场合。这种开关是一种节电效果显著,方便、实用的自动照明开关。

展望 光电照明控制技术的发展,已不再是仅仅

利用光电转换效应来控制照明灯具,而是把光的直接利用、光控、光电能量转换综合引入了照明控制领域。一种被称为太阳吊灯的照明系统已成功地运行在曼彻斯特、英格兰、斯图加特等航空港候机厅。该系统由一个用计算机控制、能自动跟踪太阳方位的凹面镜和反射镜,把阳光聚集起来,送到厅内由许多小型反射镜阵列组合起来的吊灯上,使大厅从早到晚都沐浴在自然光照之中;在夜间或阴雨天、阳光不充足时,光电和计算机控制系统会自动开启电光源来保持厅内照明。电光源的电能源可取自于供电电网,也可取自于太阳能转换系统。

随着光电元件和太阳能技术的不断发展和完善,以太阳能装置和光控、调光(见调光照明控制)手段相结合的照明控制系统在办公室、写字间、庭院、园林、道路、照明等方面将得到广泛应用。

(高汉卿)

guangtongliang

光通量 (luminous flux) 按照国际规定的标准人眼视觉特性评价的辐射通量的导出量,以符号 Φ (或 Φ_v)表示。光通量与辐射通量的关系为

$$\Phi = K_m \int V(\lambda) \Phi_{e,\lambda} d\lambda$$

式中 K_m 为光谱光视效能的最大值,等于 683 lm/W; $V(\lambda)$ 为国际照明委员会(CIE)规定的标准光谱光视效率函数; $\Phi_{e,\lambda}$ 为辐射通量的光谱密集度。光通量的单位是流明,符号为 lm。1 lm 等于由一个具有 1 cd (坎德拉) 均匀的发光强度的点光源在 1 sr (球面度) 单位立体角内发射的光通量,即 1 lm = 1 cd · sr。一只 40W 的普通白炽灯的标称光通量为 360 lm,40 W 日光色荧光灯的标称光通量为 2100 lm,而 400 W 标准型高压钠灯的光通量可达 48000 lm。

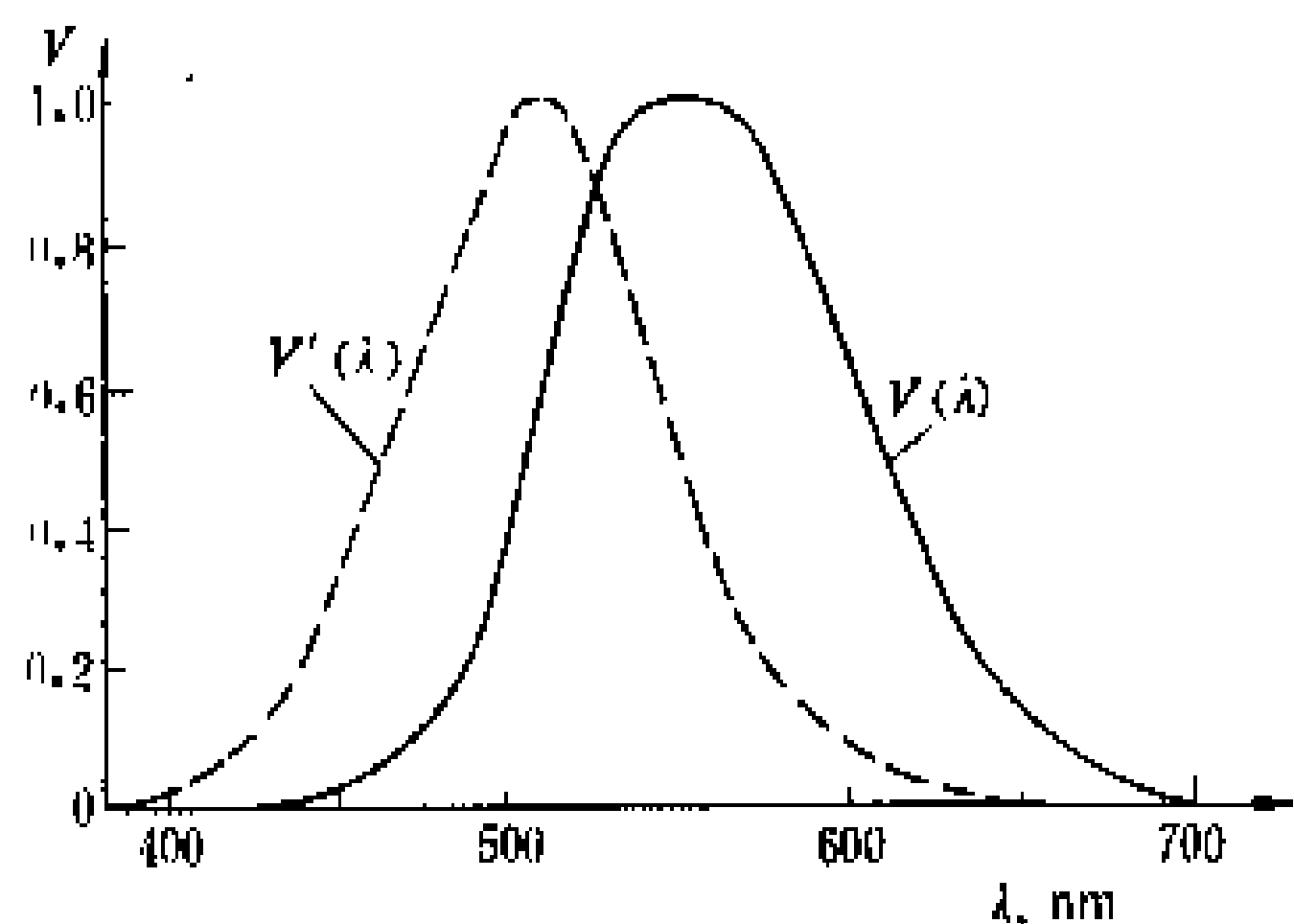
光视效能是光通量与相应的辐射通量之商,单位是 lm/W。对于复合辐射,其符号为 K , $K = \Phi / \Phi_e$ 。波长为 λ 的单色辐射的光视效能符号为 $K(\lambda)$,称为光谱光视效能,即

$$K(\lambda) = \frac{\Phi_v}{\Phi_{e,\lambda}} = K_m V(\lambda)$$

式中 λ 是光谱光视效率; K_m 是 $K(\lambda)$ 的最大值,称为最大光谱光视效能。根据各国国家计量实验室测量的平均结果,在明视觉条件下, K_m 位于频率为 540×10^{12} Hz 处 ($\lambda = 555$ nm 处)。1977 年国际计量委员会采用频率为 540×10^{12} Hz 的单色辐射的最大光谱光视效能 $K_m = 683$ lm/W。在暗视觉条件下, $K'_m = 1754$ lm/W。

光谱光视效率 亦称视见函数。它是在特定光度条件下,视亮度感觉相等的波长为 λ_m 和 λ 的两个辐射

通量之比,以符号 $V(\lambda)$ 表示。 λ_m 选在最大比值等于1处。在明视觉条件下(适应亮度大于几个坎德拉每平方米), $\lambda_m=555\text{ nm}$,此时 $V(\lambda)=1$ 。1971年国际照明委员会(CIE)公布的明视觉 $V(\lambda)$ 的标准值于1972年获国际计量委员会批准(见图)。在暗视觉条件下(适应亮度小于 0.01 cd/m^2)的光谱光视效率以符号 $V'(\lambda)$ 表示,其最大值位置向短波方向移动,在 $\lambda'_m=507\text{ nm}$ 时, $V'(\lambda)=1$ 。图中的 $V'(\lambda)$ 函数曲线是CIE1951年推荐的。



$V(\lambda)$ 曲线
实线—明视觉; 虚线—暗视觉
(唐庆旋)

guangbo shouyinji

广播收音机 (broadcast receiver) 声音广播系统的接收设备,简称收音机。它把天线接收到的高频信号还原为音频信号,送到扬声器重新放出声音。

在广播电台,广播发射机将播控中心送来的代表语言和音乐的电信号通过广播发射天线以射频无线电的形式辐射出去。广播收音机用于接收这些射频信号,并将其恢复为原来的声音。

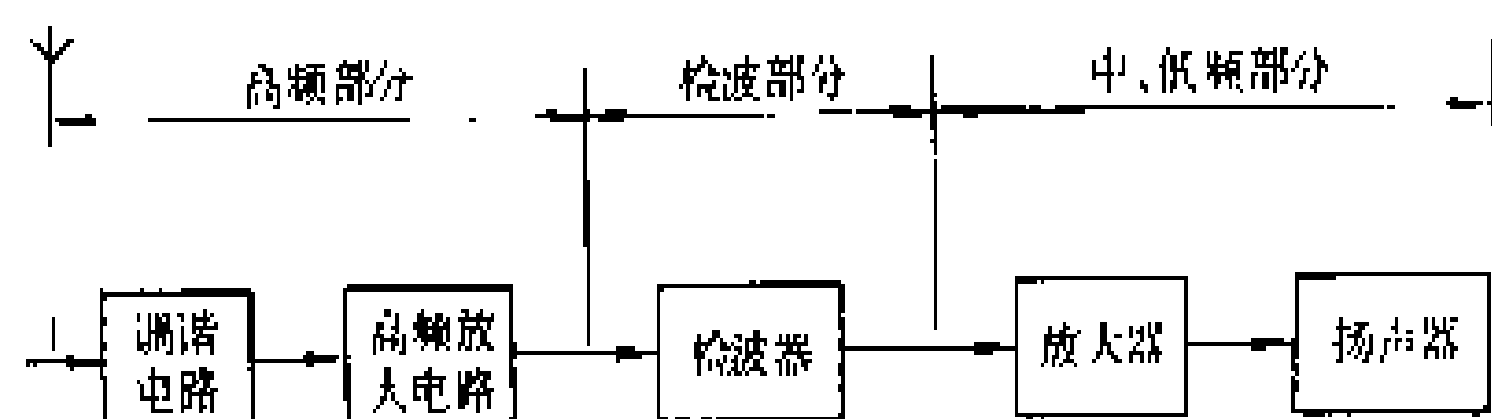
1906年,R. A. 费森登在美国马萨诸塞州布兰特岩城的实验室里,作了有史以来的第一次无线电广播。美国1920年开始调幅广播,1941年开始调频广播,并在1961年确定了与单声道广播兼容的立体声广播制式,80年代,开始研究立体声调幅广播。

收音机经历了30~40年代的矿石收音机和电子管收音机阶段,50~60年代的晶体管收音机阶段,70年代后进入了集成电路收音机阶段。收音机日益广泛地采用了自动搜索调谐和存储、数字频率合成、数字化频率显示等先进技术,并且正在向多功能、高技术指标、高可靠性、微小型化和微处理机化的方向发展。

分类 收音机的类别很多。按接收的广播制式分为调幅和调频收音机;按电路原理可分为直接检波式、直放式、来复式、再生式、自差式、超再生式、外差式和超外差式收音机;按接收波段分为中波、短波、长波

及不同波段组合式收音机;按形状、体积大小可分为袖珍式、台式、便携式、落地式收音机;按质量等级可分为特级、一级、二级、三级和四级收音机;按所用器件分为电子管、晶体管和集成电路收音机;按用途可分为普通收音机、汽车收音机、单声道或立体声收音机、钟控收音机、收录两用机、收扩两用机、收扩唱及对讲多用机和特殊信息广播收音机等。

原理 广播收音机的基本电路结构如图所示。调谐电路从接收天线上感应的许多高频信号(包括干扰信号)中选择出所需的广播信号,再经高频放大电路将信号幅度放大送入检波器。此时得到的信号仍为调制波,其高频振荡载波的瞬时频率或幅度受到调制信号(广播声音信号)的控制并随之变化,利用非线性器件构成的检波器,可从调制波中取出调制信号,以完成反调制过程。检波后的信号可用耳机直接接收,或经放大器放大后推动扬声器放声。



广播收音机的基本电路

超外差式收音机在接收广播信号时,不论其载波频率高低,都要先将它变为一个固定的中频信号,然后再进行放大、检波,通过扬声器或耳机发出声音。通常,这类收音机包括高频、中频、低频放大,以及两级频率变换电路。

直放式收音机是在只有检波器的矿石收音机基础上发展起来的,由于增加了高频和低频放大电路,音质和音量都有所提高。这类收音机在信号检波前不改变信号的原有频率。

(潘宗福)

guibandaoqi zhengliuqi

硅半导体整流器 (silicon semi-conductor rectifier) 用硅整流管或(和)晶闸管等电力半导体器件组成的、将交流电能变换为直流电能的成套设备。

硅半导体整流器包括一个或多个由半导体器件构成的整流装置,与其配套的有整流变压器、控制和保护系统、滤波和功率因数补偿系统、冷却系统等辅助电器和器械。半导体器件是整流装置的核心器件,可根据需要按不同的电路组成各种整流装置供选择使用。成套的硅半导体整流器的电压、电流和功率范围极宽,可用作一切需要直流电能场所的电源。但作为电解工业用直流电源的整流器应有能供应低电压、大电流、大功率的性能(见电解直流电源)。在选用整流器时,除注

意选择电参数外,还应注意调压、保护、冷却及设备本体的结构等问题。

电力半导体器件 用于电力整流领域的电力半导体器件,通常指1A以上的普通整流管、普通晶闸管和硅功率晶体管。这三种晶体管半导体器件都有不少派生器件,适用于不同的领域,但多不适用于电解直流电源。

选择电力半导体器件的参数是关系整流装置质量、效率的重要因素,设计时应留有适当的安全裕度。一般应选择额定电流值为实际通过电流值的2.5~3倍(均指平均值),正向或反向额定峰值阻断电压为实际承受的峰值电压值的2~3倍。

普通整流管 以硅单晶为基本材料,利用PN结单向导电性能而制成的整流器件,P为正极,N为负极,工作结温为-40~150℃,正向峰值电压降为1.4~2.5V,体积小,效率高。整流管有自冷、风冷及水冷等冷却方式。普通整流管的电流达5000A,反向峰值电压可达6000V。

普通晶闸管 以硅单晶为基本材料制成的PNPN四层三端可控的开关器件,特点是只有在阳极为正电位、且控制门极触发后才能正向导通,反向阻断特性与普通整流管相同,能以毫安级的电流控制大功率晶闸管整流器的工作。普通晶闸管的电流3600A,电压6500V,适用于交流频率400Hz以下的可控整流器。

硅功率晶体管 耗散功率1W以上的晶体管为功率晶体管,基本结构与小功率晶体管相同。与晶闸管相比,它的开关时间短、具有自关断能力、饱和压降低、损耗小,但由于其功率仍较小,电压也不很高,尚不具备在电解电源装置中使用的条件。

电解用整流器 常用的有以整流管组成的硅整流器和以晶闸管组成的晶闸管整流器两大类。电压为30~1200V,电流为0.6~63kA,用数个整流器并联工作可满足300kA级大型铝或食盐电解槽的需要。冷却方式以水冷为主。水冷式整流器与风冷式的比较,体积小,无噪声,尤其适合在电解整流所内集中使用。整流装置的结构有户内式与户外式两种。户外式的整流装置,连同整流变压器一起,直接安装在电解车间(工厂)旁边,可减少直流母线的引线长度,提高电解电源的功率因数与效率。

整流器的电路 用整流管组成的电路称为不可控整流电路,用晶闸管组成的电路称为可控整流电路。两者都可以组成三相或多相整流电路。增加电路相数可以降低谐波污染的程度,增加输出直流的平滑程度,也相应增加了整流器的复杂程度。(见电解电源整流电






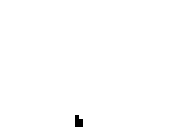
路)

整流器额定值和负载等级 主要有额定直流电压、负载等级、额定直流电流。

(1) 额定直流电压:整流装置的连续工作电压一般应留有控制裕度,以满足电压调节的需要和适应交流电压的波动。中国国家标准GB3859—83《半导体电力变流器》推荐的额定直流电压值如下:3, 6, 12, 15, 18, 24, 36, 48, 60, 72, 90, 115, 125, 160, 200, 230, 250, 315, 400, 460, 500, 630, 800, 1000V, ……

(2) 负载等级:通常是给出规定持续时间、恒定电压值的通用负载曲线来表示。中国国家标准GB3859—83《半导体电力变流器》推荐的负载等级见表,这些等级的负载循环均以24h为周期。

标准负载等级的负载条件和典型用途

负载等级	负载条件	典型负载日循环曲线 (负载电流表示为额定直流电流的百分值)	典型用途
I	100% I_{dN} 连续		电解
II	100% I_{dN} 连续 150% I_{dN} 1 min		电解、电加工
III	100% I_{dN} 连续 150% I_{dN} 2 min 200% I_{dN} 10 s		轻工业和轻型牵引
IV	100% I_{dN} 连续 125% I_{dN} 2 h 200% I_{dN} 10 s		一般工业用
V	100% I_{dN} 连续 150% I_{dN} 2 h 200% I_{dN} 1 min		中等牵引和矿山用
VI	100% I_{dN} 连续 150% I_{dN} 2 h 300% I_{dN} 1 min		重型牵引

注:非标准负载等级以“0”级表示。

(3) 额定直流电流:包括额定直流电流、额定过载电流和额定持续电流。额定直流电流 I_{dN} 与过载电流的关系应尽可能符合表中负载条件栏的规定,对表中所列的各级负载等级,均取100% I_{dN} 的值作为额定直流电流值。中国国家标准GB3859—83《半导体电力变流器》中额定直流电流推荐值如下:1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000, 6300, 8000, 10000, 12500, 16000, 20000, 25000, 31500, 40000, 50000, 63000A, ……

整流器的调压与保护 控制整流器直流输出电压

的方式主要有幅值调压和相位控制调压两种。整流器的保护主要有电流保护和电压保护。

(1) 幅值调压：利用调压变压器改变电网侧电压幅值以调节直流电压值。交流功率 1000 kV·A 以下用感应或自耦调压器进行幅值调压，1000 kV·A 以上用有载调压变压器，也可再加饱和电抗器进行局部无级细调，如图 1(b)所示。这种调压方式的优点是功率因数高，在深度调节下输出直流电流值不受影响，但惯性较大。

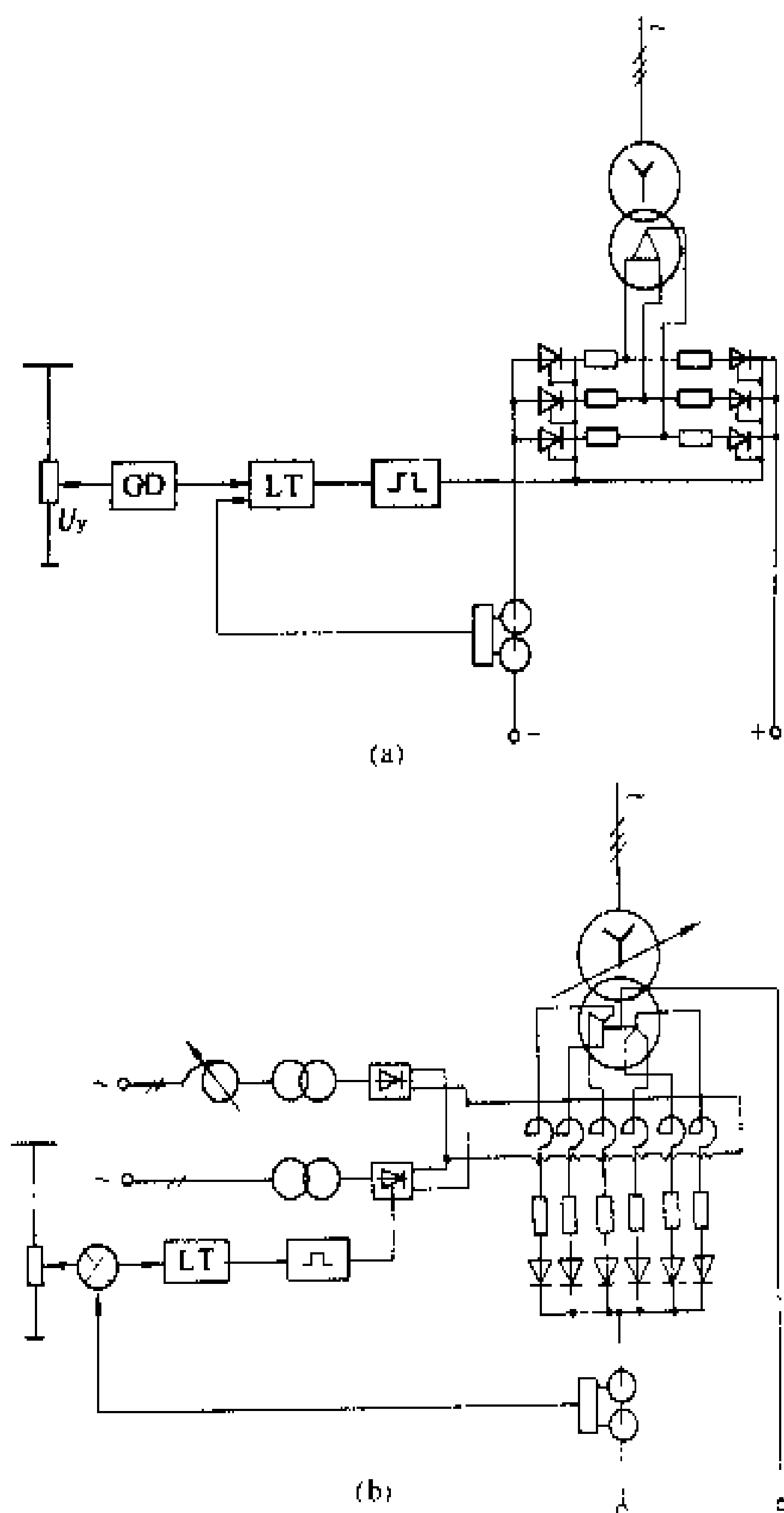


图 1 整流器电路系统图

(a)晶闸管整流器电路；(b)硅整流器电路

(2) 相位控制调压：利用晶闸管相位控制特性调节整流电压。这种调压方式可进行 0~100% 额定电压值的无级调节，响应速度快，自动控制性能好，控制功率小，易于与计算机接口实现自动稳流、自动调节电解负荷、自动计量。功率因数随相控率的增加而降低，谐波分量也随之增加。图 1(a)是电解用晶闸管整流器电路系统图。整流电压的控制信号 U_f 由给定积分器 (GD) 经电流调节器 (LT) 向触发器 (JL) 提供，随着 U_f 值的增减，触发器随即改变脉冲触发时刻，从而调节直流输出电压量。这种调压方式已愈来愈多

地用于电解铝、电解锌、电解铜、电解水、电解食盐等领域。

(3) 保护：电力半导体器件的热容量小，需进行过电流保护与过电压抑制。装置中器件的击穿、直通等引起的内部短路和负载短接引起的外部短路等过电流故障，可采用快速熔断器、直流开关、过电流继电器等限时器件相配合的保护方式。半导体器件换相等浪涌过电压，可在器件两端并联电容或电阻-电容进行抑制。大气放电、断路器操作等引起的外部浪涌过电压，则可采用在交流或直流侧并联避雷器、压敏电阻或电容器等方法进行抑制。必要时，对晶闸管还要采取抑制电压、电流上升率的保护措施。

整流器的功率因数与谐波 整流器的功率因数 $\lambda = \gamma \cos \varphi$ 。其中 γ 为畸变因数，对脉波数为 6 或以上的整流器， $\gamma = 1$ ； $\cos \varphi$ 为位移因数，与晶闸管延迟角、交流侧感抗、电流波形有关。由此看出，硅整流器的功率因数较高。为进一步提高电解用晶闸管整流器的功率因数，可在整流变压器一次侧进行 Y, d 接线倒换，或在二次侧设分接抽头等方法，以尽量减少延迟角的数值。

对电网来说，硅半导体整流器是一种非线性用电设备，工作时向电网注入谐波电流，电力部门对谐波电流的允许注入量有规定。因此，在设计电解整流所时，要计算其谐波电流量，并采取必要措施，将其减少到规定值以下。（见整流器的谐波）

整流器的冷却与结构 整流器的冷却主要是指电力半导体器件及快速熔断器等冷却。冷却方式有自冷、风冷、液冷（主要是水冷）、沸腾冷却等，一般按功率大小或使用环境条件进行选择。电解用整流器多选用水冷。电力半导体器件散热器的结构如图 2 所示。其中 20A 以下用自冷式，50~1000A 用风冷式或水冷式，1000A 以上多用水冷式。电解等用的大功率整流装置的整流臂往往有 2~20 个半导体器件并联连接，散热器的结构常用铜或铜合金挤压成条形或块形的异形导电母线，见图 2(e)，母线两侧有通冷却水用的内孔，既作散热器，又是汇流母线。平板式半导体器件安装时，器件的外侧可压装冷却水腔，进行双面冷却，以提高器件的出力。这种用异形导电母线构成的汇流式水冷的整流装置，体积小，尤其适用于同相逆并联电连接的整流装置。汇流母线上有多个快速熔断器并联安装时，应对母线采取强迫冷却措施，如在母线背面焊扁铜管通水冷却等。

整流装置的结构有户内式与户外式两种。前者常为柜式结构，以薄钢板弯制成各种零件，用焊接或紧固件连接的方法制成柜壳。为减少涡流损耗，对局部有强磁感应处衬焊不锈钢板或非导磁性材料。国际上发展



着一种大功率电解用无柜壳的整流装置,它的特点是以整流臂的异形母线作为主柱,用铜或铝等非导磁材料制作零件,用焊接或衬绝缘片后采用紧固件连接成

菜去皮机可用于土豆、萝卜、苹果等茎、果类食物的去皮。

去皮机的壳体、机座、顶部采用铝合金铸造或薄钢板卷焊而成(见图)。剥皮轮一般是用40目金钢砂掺上环氧树脂,通过模型浇铸在盘状金属零件上,经过烘干制成。剥皮轮的旋转力由电动机通过皮带、蜗杆蜗轮变速箱传递而来。蜗轮付的减速比为7.5~10。经过皮带、蜗轮两级减速,电动机的转速由1450 r/min降为60~125 r/min。

由于粘附有粗砂粒的剥皮轮在电机的带动下旋转,轮上的粗砂粒像无数把微刃,在旋转过程中刨去茎、果的表皮,并且给被去皮物以作用力,使其滚动,这样能使食物的整个表面都得到处理。同时,由于轮盘上凸筋的作用,被加工物在运动过程中,不断地被抛起,落下时由于重力的作用和轮盘发生碰撞,增加相互间的作用力,使得砂粒对于果菜表皮的切削力增大,从而加快了去皮的速度,并提高果菜表面的洁净程度。有的产品将砂子粘在筒壁上,

旋转盘做成带筋的圆盘,其作用原理相同。

去皮机的使用方法较简单,先让剥皮轮旋转起来,然后投入果菜同时间歇地加水以便将剩下的皮屑冲到下面的果皮盒里,也有利于将果菜的表皮剥削干净。使用开始时,还应注意打开底部的排水阀门,以便排除污水。

(叶宗林)

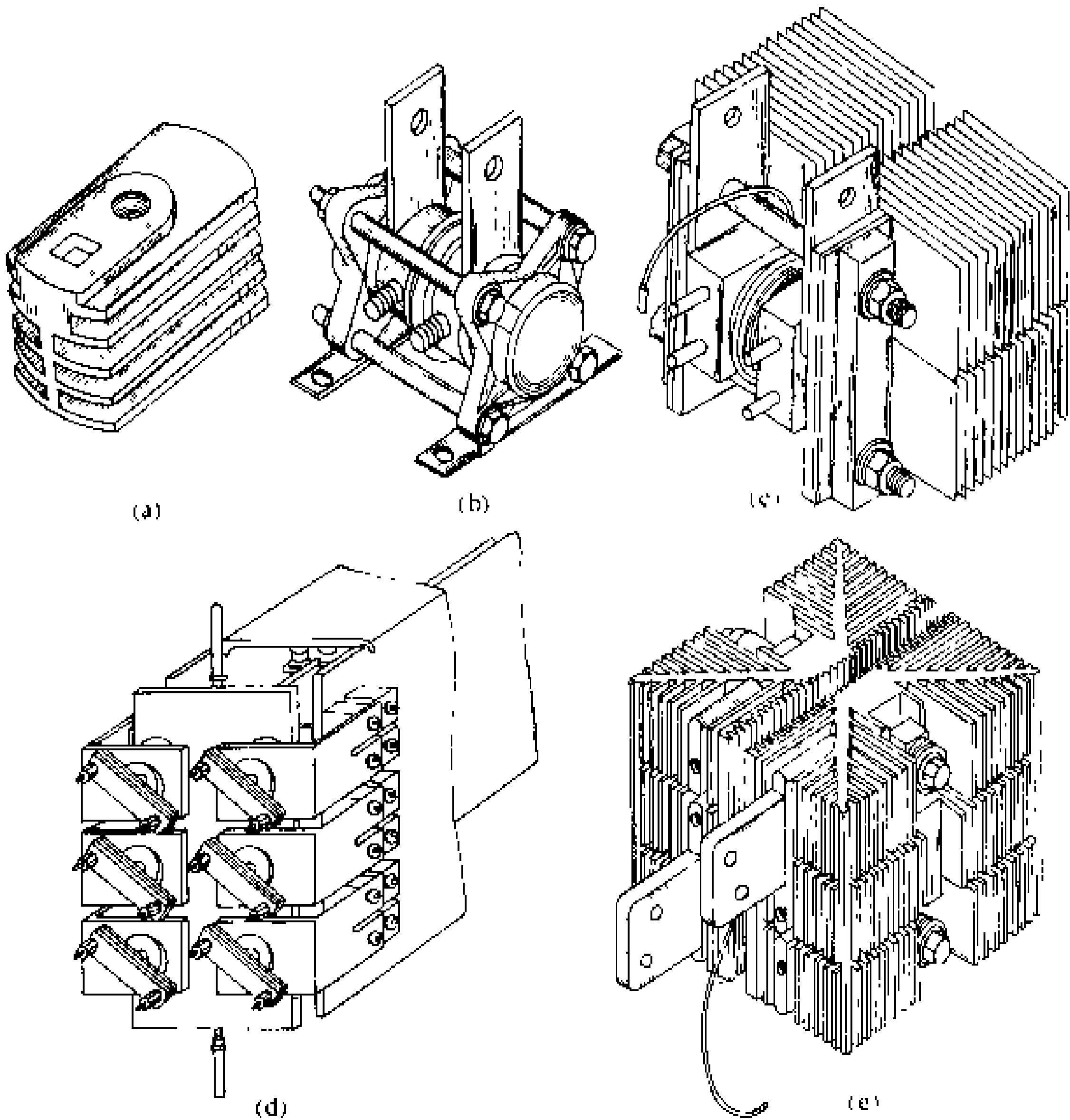


图2 不同冷却方式的散热器结构示意图

(a) 自冷; (b) 水冷; (c) 热管冷; (d) 风冷; (e) 汇流式水冷

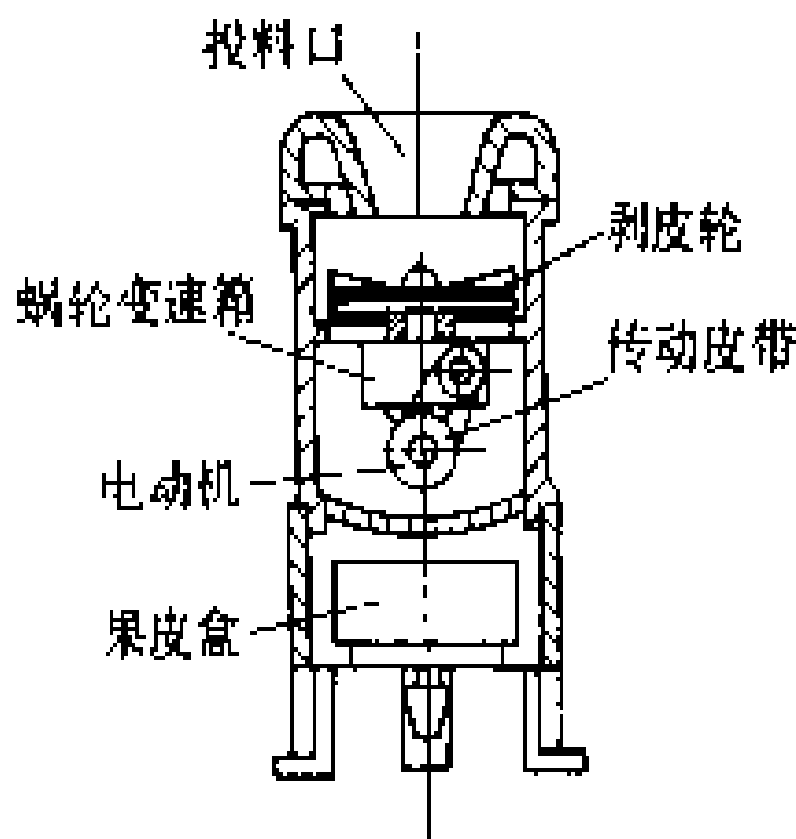
骨架,结构简单,电连接的节点少,无涡流损耗,效率高,但要求安装环境清洁。户外式整流装置采用密封柜式结构,并应具有防雨、防晒、防冻等功能。户外式整流装置在电解行业中的应用日益增多。

参考书目

顾廉楚主编. 电力半导体器件原理. 北京: 机械工业出版社, 1988

黄俊主编. 半导体变流技术. 北京: 机械工业出版社, 1980

(钟授判)



果菜去皮机

guocai qupiji

果菜去皮机 (fruit and vegetable peeler)

专门用于削去带皮水果和蔬菜外皮的厨房器具。果



heli yongdian

合理用电 (rational use of electricity)

使电能的消耗降低,效益提高的活动。用电过程中,为满足生产和生活的需要,在特定条件下,电能转换成为机械能、热能、光能、化学能的过程中,降低电力消耗,提高电能利用率是合理用电的目的。合理用电应遵循满足用户用能目的的需要;在用户可选用多种能源时,以综合能耗最低、经济、高效、环保影响最小的原则,达到社会能源消耗最低,电效益最高。为了合理用电开展的工作有:电能平衡测试、产品电耗管理、调整用电负荷、推广应用节约用电技术等。

(1)电能平衡测试。电能平衡测试是对生产和生活中使用电能的情况,进行定量分析的一种科学方法,也是加强企业用电科学管理的一项基础工作。通过开展企业电能平衡测试,查清企业电能流向、传输、转换过程中的有效利用和损失情况,分析主要产品电耗升降原因,找出企业节电潜力和部位,提出改善用电管理,降低损耗及采取节约用电技术措施的对策。

(2)产品电耗管理。产品电耗是衡量企业生产技术和经营管理水平的一项综合性技术经济指标。通过产品电耗定额的制定和产品电耗定额的对比考核与分析,可促进企业加强用电管理,指导企业合理使用电能,降低用电消耗。

(3)调整用电负荷。调整用电设备运行时间,合理安排生产班次,注意使生产机械满负荷工作,使电力的分配与使用趋向更为合理,保持负荷平稳,以提高负荷率,降低损耗,实现经济合理运行。

(4)推广应用节约用电技术。在生产工艺、机电设备和生产组织管理等方面推广应用节约用电的技术措施,是实现合理用电的重要内容之一。主要应做好:性能差、效率低、耗能高的老旧机电设备的更新改造工作;采用先进的生产工艺替代落后的生产工艺;根据生产需要,随时调整机电设备负载,达到经济运行;采用节电新技术,优化操作方法;加强机电设备的维修管理等。

(翟克俊)

heli yongdian biaozhun

合理用电标准 (standards for rational use of electricity)

实现电能高效、充分利用的统一技术要求。合理用电标准是运用标准化的方法,使电能得到高效、充分利用,所制定的统一标准。合理用电标准是能源标准之一,也是用电企业和电气制造厂应共同遵守的依据和准则。国际标准化组织(ISO)制订了一系列国际能源标准。

合理用电标准是整个用电管理标准体系的组成部分。它分为三类:①技术管理标准,主要对用电设备运行管理所作的统一规定。②方法标准,在用电设备实现合理用电时,对分析、测试、检验、鉴定等方面技术要求的统一规定,以规范方法与程序,确保数据的可比,为定性、定量分析提供可靠依据。③设备、器具标准,主要对用电设备器具采取技术措施,改善原材料性能、设备结构、工艺方法等减少电能损失,提高效率等所作的统一规定。

1982年中国由国家计委、国家经委提出并制定的国家标准 GB3485《评价企业合理用电技术导则》,对企业合理用电的一般原则和技术经济指标加以规定。其主要内容包括:

(1)企业供电系统的合理化。对企业供配电系统在确定合理的供电方式,选择最佳运行方式,降低供配电线路损失,提高供电效率等方面提出要求和规定。

(2)企业供用电运行指标的合理确定。对企业供用电设备的主要经济运行指标,如用电负荷率、功率因数、线损率、自备电厂厂用电率等加以规定。

(3)变压器运行的合理化。对企业合理选择变压器运行方式,按经济运行条件调整负荷,降低变压器有功损耗和无功消耗提出要求和规定。

(4)直流供电系统的合理化。对企业在选择高效整流装置,直流供电网络合理运行方式,降低线路损失等方面加以规定。

(5)电能转换为机械能的合理化。对企业合理选择和使用电动机,使机电设备与负载合理匹配,在效率高、损耗低的最佳状态下运行,并提出技术要求和规定。

(6)电能转换为热量的合理化。对企业选择加热方式,合理使用能源,使电加热设备经济合理地运行,在减少热损失、提高热效率和电能利用率方面提出技术指标和规定。

(7)电能转换为化学能的合理化。对企业选择电化学反应设备合理的经济电流密度,控制电解质的浓度、纯度、温度,提高电流效率,降低槽电压等方面提出技术指标和规定。

(8)电能转换为光能的合理化。对企业的照明用电



合理选择电光源和灯具、照明方式、照度水平等方面提出技术指标和规定。

中国合理用电国家标准还有 GB/T13466~13470《交流传动风机(泵类、压缩机)系统经济运行和计算方法》、GB5623《产品电耗定额制定和管理导则》、GB8222《企业设备电能平衡通则》、GB/T13471《节电措施经济效益计算与评价方法》、GB8871《交流接触器节电器及其应用技术条件》以及 GB12021.1~12021.9《家用和类似用途电器电耗(效率)限定值及测试方法编制通则》(包括 8 种电器产品)等。

(翟克俊)

heci gongzhen chengxiang zhenduananyi

核磁共振成像诊断仪 (magnetic resonance imaging, MRI) 利用核磁共振现象对人体内部组织、脏器及其病变进行无创检查,并从不同角度显示其二维断层图像的诊断仪器。

核磁共振现象最早于 1946 年由斯坦福大学和哈佛大学同时发现。其原理是任何物体处在一个强磁场中时,其内部原子核由于质子自旋产生的磁动量都将受磁化而与强磁场的方向平行,此时如引入一具备某特定频率的射频电磁波产生一弱磁场,由于两正交磁场的相互作用,使原子核的磁动量发生偏移,这种现象即称为核磁共振现象。当附加弱磁场去除后,原子核的磁动量方向将重新回到原磁化方向。在这样的变化过程中,由于能量的变化,将产生与附加弱磁场频率一致的射频电磁信号,称为核磁共振信号,对这一信号进行接收处理,便可用于成像。1973 年首次做出水的核磁共振二维图象,随后,其技术发展成为完美的成像系统,很快用于临床。这类成像系统的最大特点是安全可靠,清晰度高,它不借助任何粒子射线,因而无辐射危险,而分辨率却是各种成像设备中最优良的之一。一台核磁共振成像系统大致由六个部分组成:①变化磁场部分;②固定磁场部分;③无线电信号接收部分;④计算机部分;⑤数据库存贮部分;⑥显示部分。根据固定磁场部分结构上的不同,又可分为三类:①永磁场型;②阻性磁场型;③超导磁场型。这种装置主要用于对颅脑和胸腹部病变的诊断定位,对中枢神经系统疾病的诊断尤为突出。它的缺点是价格昂贵,病人检查时间长,对有金属植入物(如心脏起搏器等)的病人图像质量下降,其磁场甚至可能对这类病人造成危险。

随着超导技术的发展,核磁共振成像的分辨率将进一步提高。此外,随着图像处理技术的发展,三维图像重建、XCT—MRI 图像叠构等技术的应用将为这种医学成像方式开辟出新的领域。

(周 奕)

heiguangdeng

黑光灯 (black light lamp) 一种发射人眼看不见的、波长在 365 nm 左右的紫外线的电光源。黑光灯具有很强的诱虫作用,是杀虫用灯的理想光源。

黑光灯的诱虫原理是因为昆虫的复眼对波长 365 nm 的紫外线辐射非常敏感,尤其是飞翔的昆虫。图 1 为昆虫对辐射的视觉光谱灵敏度曲线。由图 1 看出昆虫视觉的光谱灵敏区为 300~400 nm 的紫外线。人眼看不见的紫外线,对昆虫就是可见的。昆虫的向光性使得夜间野外的黑光灯具有强烈的诱虫作用。图 2 所示的黑光灯的相对光谱能量分布曲线正好和昆虫的视觉光谱灵敏度曲线相一致。黑光灯引诱来的害虫,用化学或电的方法加以杀死。黑光灯诱杀害虫的技术在农业上得到了广泛的应用。

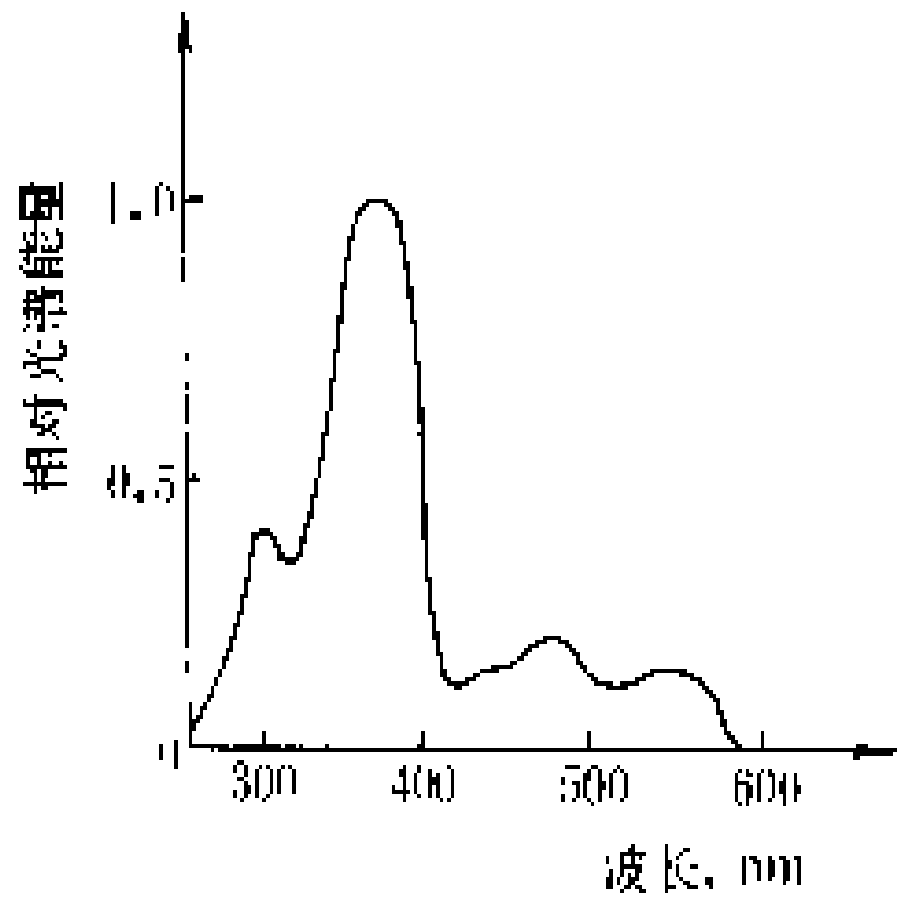


图 1 昆虫视觉光谱灵敏度曲线

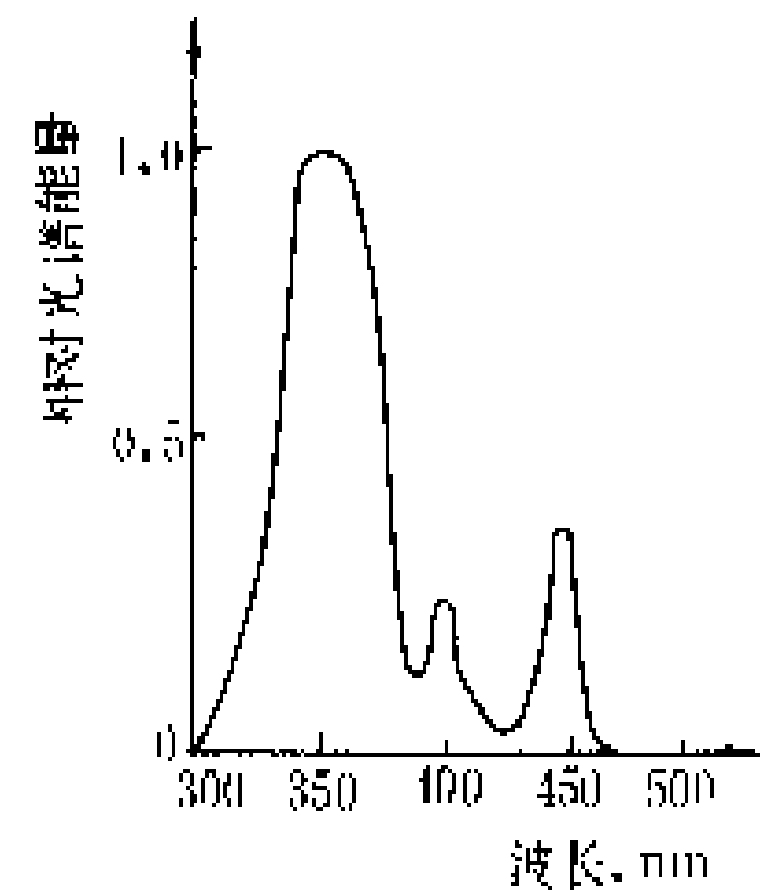


图 2 黑灯光谱能量分布

试验表明,黑光灯可诱杀数百种害虫,而对益虫却伤害不多。据统计,田间害虫约占 84%,益虫占 16%。黑光灯对危害水稻、小麦、玉米、高粱、棉花、甘蔗、茶和果树等农作物的害虫具有显著的诱杀效果。一盏 20 W 的黑光灯可管理 50 亩地,一夜的诱杀虫的数量高达 4~5 kg。利用黑光灯诱杀害虫,不仅杀虫的效率高,而且使用方便,没有污染,可节约大量农药。如果使用紫外线金属卤化物灯作黑灯光光源,由于紫外线辐射能量大,功率可做得很高,那么一盏灯可以管理上千亩地。使用大功率黑光灯,田间布灯少,供电线路简单,使用管理更为方便。所以大功率的长波紫外线金属卤化物灯(如镓-铝灯)是一种很有发展前途的黑灯光光源。

黑光灯的种类较多,按光源类型分有高压汞灯黑光灯,荧光低压汞灯黑光灯和金属卤化物灯黑光灯三类。按供电电源分类有交流供电黑光灯和直流供电黑光灯两类。常用黑灯光光源的规格和技术参数如表所示。

交流供电黑光灯有带化学药水或杀虫纸的黑光杀虫灯和带高压电网的黑光杀虫灯两种。带化学药水或



黑光灯光源的规格和技术参数表

型 号	电压 (V)	功率 (W)	启动电流 (mA)	工作电流 (mA)	灯管压降 (V)	平均有效寿命 (h)	外形尺寸 (mm)	
							全长	直径
H—20	220	20	460	350	60	2000	604	38
H—40	220	40	650	410	80	2000	1215	38

注：H 代表黑光灯光源，横线后的数字为灯的功率 (W)。

杀虫纸的黑光杀虫灯，在光源下方或侧面设置一个盛装杀虫药水的容器或经化学处理有杀虫作用的特效杀虫纸。当黑光引诱来的害虫接触杀虫药水或杀虫纸即可死亡。带高压电网黑光杀虫灯由黑光光源、变压器、电网及保护指示器组成。点灯后，电网电压为 3000~5000 V 的高压，当黑光引诱来的害虫碰触电网时被电击杀死。使用黑光灯时要严格遵守使用说明书所列的各项要求与规定，注意人和牲畜安全，特别是高压电网黑光杀虫灯在运行时严禁人畜接近。

直流电源供电的黑光灯，一般使用 6 V 直流电瓶 (1 A 以上)，通过一个晶体管直流变换器把直流电变为交流电 (1.9 kHz, 60 V) 来点燃黑光灯管，其他有关灯的构造和诱杀虫的方法大体上和交流电源黑光杀虫灯是一样的。

随着电光源技术的发展，黑光灯光源的波长范围由近紫外辐射区 (400~315 nm) 扩大到中紫外辐射区 (315~280 nm) 和远紫外辐射区 (280~100 nm)，黑光灯光源的种类不断增多，应用范围也将更加广泛。

参考书目

石中玉编著，紫外线光源及其应用，北京：轻工业出版社，1984

(肖辉乾)

heise jinshu gongye yongdian

黑色金属工业用电 (electrical energy utilization of ferrous metals industry)

黑色金属指铁、铬、锰三种金属。其核心为钢铁，其他为炼钢需要的中间产品。黑色金属生产工艺包括矿石采选、炼铁、炼钢、轧材和铁合金冶炼等。中国 1990 年黑色金属工业用电占全部工业用电的 15.3%。

铁矿石开采工艺与采煤工艺类似 (见煤炭工业用电)。一般符合规格的块状富矿石可直接送入高炉炼铁；低品位矿石需要选富矿石集成的铁精矿，粒度小的富矿石和选出的铁精矿，需要经过烧结或球团等工艺，制成一定规格的块状才可进入高炉冶炼。

高炉炼铁需要块状焦炭做燃料，一般炼铁厂多附设焦化车间。从炼成的焦炭中选出适当粒度的焦炭与块状铁精矿及其他辅助材料从顶部送入高炉，从炉膛下部鼓入空气进行燃烧冶炼。炼出的生铁少部分用于

铸成生铁铸件，大部分用于炼钢。高炉炼铁耗用动力最大的是向炉内送入空气的鼓风机，其动力有蒸气透平和电动机两种，因而其单位产品 (产值) 耗电相差很大。

炼钢是将生铁或废钢在平炉、转炉或电炉中进行氧化，去掉部分碳和杂质并根据不同应用目的要求加入适量合金元素的冶炼过程。炼钢用电单耗以电炉冶炼为最大，转炉冶炼次之，平炉冶炼为最小。炼钢过程需要氧气助熔，因而钢铁工业多设有制氧车间。制氧用电较多，尤以转炉冶炼为最多；还需要铁合金作为氧化后的脱氧剂和合金元素添加剂，用以改善钢的性能。炼钢产出的钢液一般铸成钢锭送轧钢厂轧制钢材。

在钢铁冶炼中，使用铁合金较多，铬、锰等添加元素都是通过其合金加入钢液内。铁合金冶炼也属于黑色金属工业，大部分铁合金用电弧炉冶炼，铁合金用电单耗随铁合金品种和使用矿石品位而异。

黑色金属工业对供电可靠性要求高，具有负荷曲线一般较平稳、负荷率高，自然功率因数低等特点；但电炉炼钢中，由于运行中短路，带来负荷冲击以及高次谐波，特别是以电为动力的轧钢机，单机容量较大，在轧材过程中机械负载瞬间变化很大，对电力系统产生冲击负荷干扰；直流供电的轧钢机需用晶闸管整流，对电力系统产生谐波污染，需采取防治措施。

见钢铁工业用电。

(蒋凤铎 顾嘉果)

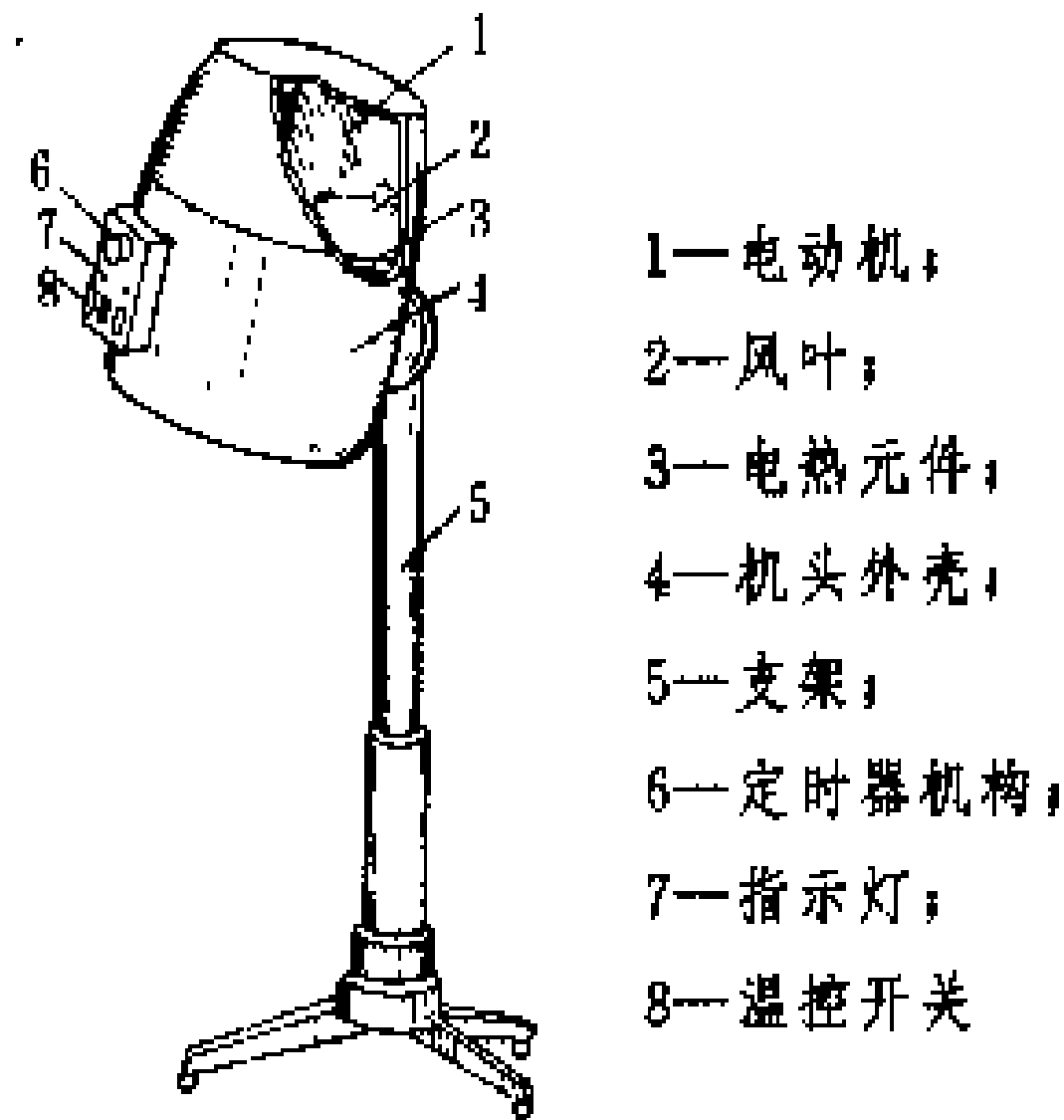
hongfaqi

烘发器 (hair dryer) 用于头发烘干和定型的罩帽式整容电器。烘发器按装置方式可分为落地式、悬臂式、台式和便携式；按加热方式可分为电热器式、远红外辐射式和 PTC 发热体式。烘发器的一般结构如图所示，主要由电动机、风叶、电热元件、机头 (风帽)、定时和控温器件组成。通电后，电机带动风叶旋转，使冷空气通过电热元件变成热风，人的头部进入机头 (风帽) 的风筒中，即可将湿发烘干或将已卷曲的湿发烘干定型。

烘发器电机一般采用单相电动机或电风扇电动机，家庭用便携式烘发器采用小型永磁直流电动机。发热元件有采用镍铬丝绕在瓷盘上的方式，也有采用镍铬丝放入装满绝缘耐热填料的不锈钢管或外壁涂远红外涂料的陶瓷体中的方式，较新的烘发器用红外线灯和 PTC 半导体陶瓷作发热元件。风叶用铝、铁或塑料制成，该组件必须有良好的动平衡性。服务行业用烘发



器的机头（风帽）外壳用铁、铝、玻璃钢等材料制作。家用便携式烘发器的机头（风帽）用耐热塑料和薄膜等材料制成。温度控制可通过转换开关或琴键开关变换



烘发器的结构示意图

电热丝阻抗来实现，也可通过电子感温元件控制电热丝的通断电来完成。定时机构用钟控原理的机械形式，或用晶体管电路的电子形式。

（刘有常）

hongwai jia re

红外加热（infra-red heating） 利用红外辐射的能量对物料进行加热的方法，又叫红外线加热。红外辐射（又叫红外线）是波长介于可见光与微波之间的电磁波。其短波方面的界限决定于人眼的视觉，一般认为在 0.72~0.76 μm 范围内，长波方面的界限通常认为是 1000 μm 。红外辐射常按波长划分为几个波段，如近红外、中红外、远红外等。划分段数和各段的界限随科学技术领域而异，且在同一技术领域中也常不统一。国际电工委员会标准 IEC50（841）（1983 年版）中把红外辐射分为短波红外辐射、中波红外辐射和长波红外辐射三个波段，波长范围分别为： $\leq 2 \mu\text{m}$ 、 $2\sim 4 \mu\text{m}$ 和 $>4 \mu\text{m}$ 。但在红外加热的实际中通常只分红外和远红外两个波段。两者的界限随着红外加热技术的发展从 5.6, 3, 3.5 μm 减小到 2 μm 的趋势，相当于把上述 IEC 标准中的中波合并为一个远红外波段。远红外加热波长的界限实际中约到 100 μm 。

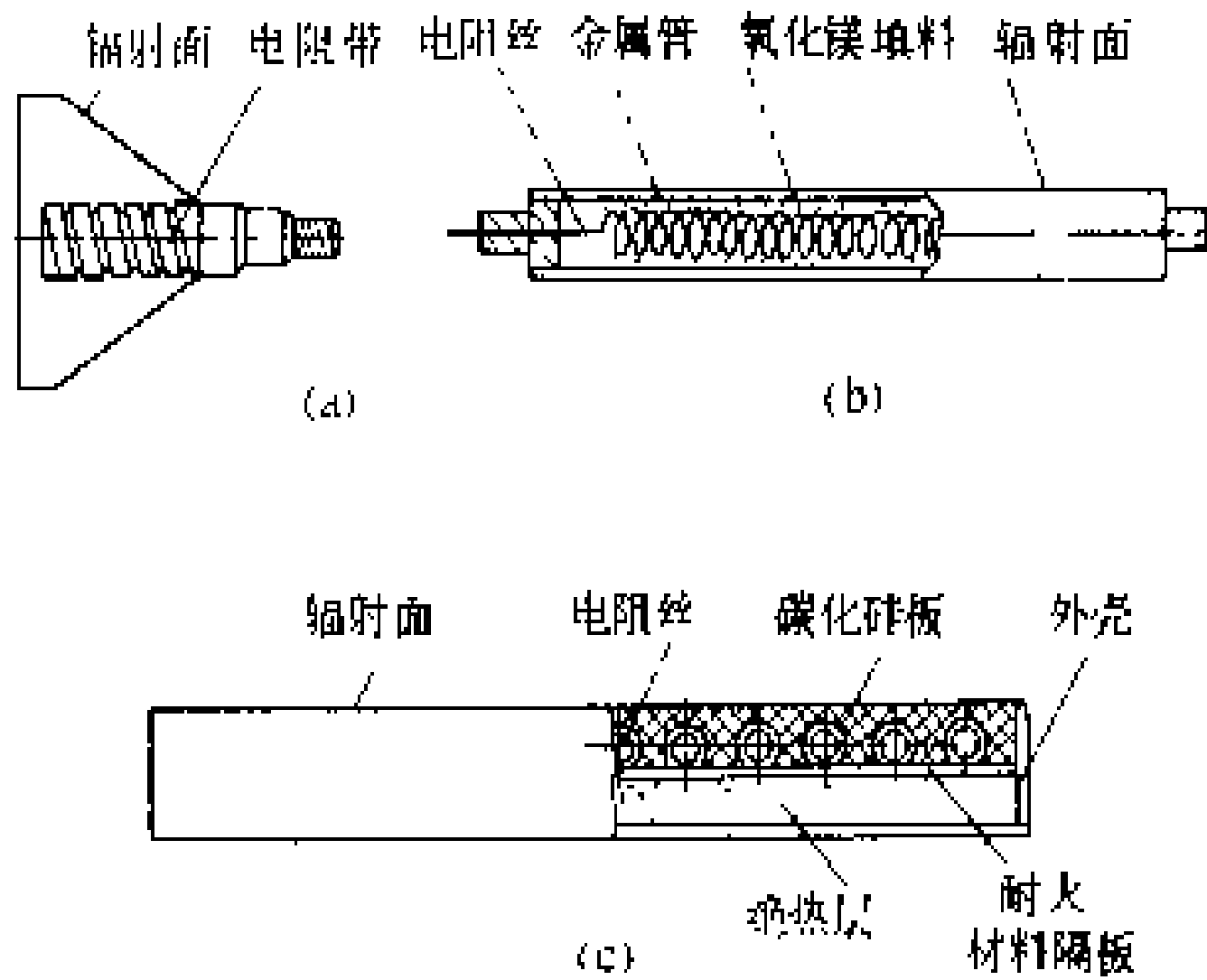
应用条件 红外辐射入射到物料表面时，其一部分能量被吸收，转变成热能使物料加热，另一部分被物料反射和透过物料。物料吸收红外辐射的能力——吸收率，既随物料种类而异，也随辐射波长而异。如水对波长 3.6, 15 μm 附近的红外辐射，其吸收率可达 90% 以上，而对 2, 4 μm 附近的只有约 10%；酚醛树脂对 2.5, 3.1, 6.4, 8.3 μm 附近的，吸收率可达约 80%，而对 4~6 μm 的不到 20%。各种物料的红外吸收特性可查见有关图谱。另一方面，红外辐射源在一定表面温度 T 下的辐射强度是波长的函数，在某一波长 λ_m 处

有一个峰值。 T 增加时， λ_m 减小。为使红外加热优点得以充分发挥，其应用条件首先是，适当选择辐射源的表面温度，使辐射功率足够大，并且辐射的峰值波段应与物料高吸收率波段匹配，使辐射能被充分吸收；其次，要采取其他提高和节约辐射能的措施，如提高辐射表面的红外辐射率（如加涂料）、适当选择辐射源与物料之间的距离、用反射镜集中辐射等。

特点和用途 在上述条件下进行的红外加热有热效率高、节约能源、加热时间短和可提高加热质量等优点。红外加热设备结构简单，投资少，维护方便，作业面积小，易于实现连续化自动化生产和劳动条件好。

红外加热的用途十分广泛，如汽车、拖拉机和其 他机电产品及五金制品等表面涂饰物的干燥，绝缘防腐涂料的处理，塑料原料的脱水干燥和熔化，纺织品的干燥和上浆，化学纤维的热定型和加热处理，肉、鱼、糕点等食品的烤制和杀菌，谷物、蔬菜、茶叶、水产品的脱水干燥，木材的干燥和定型，木材制品的烘干和粘合，钢铁材料焊接前的预热和焊缝的退火，人体的理疗等。其中主要用的是远红外加热。

元件和设备 用来产生红外辐射的元件种类很多。辐射元件本身有用煤气或其他燃料加热的，但多数利用电阻加热。元件按外形有灯式、管式和板式几种；按所用材料和制造工艺有钨丝灯泡、加涂金属氧化物的金属基本元件、电热合金石英管式元件、电热合金丝埋入式陶瓷元件等许多种。钨丝灯泡与普通白炽灯泡类似，玻璃内面后部涂有反射层。钨丝的温度在 2000℃ 以上，辐射能集中在 2 μm 以下波段内，用于近红外加热。几种远红外辐射元件示于图。其辐射表面的



几种远红外辐射元件示意图

（a）金属电阻体灯式；（b）氧化镁管式（反射屏未示）；
（c）碳化硅板式

温度在 300~1000℃ 范围内，辐射能集中在远红外波段。为提高元件单位面积的辐射功率常采用在元件表面涂敷特定的红外高辐射率涂料—— Ni_2O_3 、 Cr_2O_3 、



CoO MnO₂、SiC、SiO₂ 等方法。红外加热装置由红外辐射元件和固定架、物料支承机构等组成,必要时配以物料输送机构和外壳等。元件的供电和控制与普通电阻炉类似。

历史和发展 红外辐射是英国天文学家 F. W. 赫歇耳(F. W. Herschel)于 1800 年在观察太阳辐射时发现的。20 世纪 30 年代美国福特汽车公司首先把红外辐射应用于加热烘干汽车的表面涂层。早期用的是钨丝红外灯泡,属近红外加热。70 年代前后由于理论研究的深入和测试手段的进步,发现对许多种物料,用远红外加热比用近红外加热更有效。日本于 1968 年宣布研制成远红外加热器,70 年代初成功地用于工业生产。中国 50 年代开始红外加热技术的应用,1974 年起大面积推广远红外加热。

参考书目

徐怀平编,远红外加热技术,石家庄:河北人民出版社,1983

(齐 钢 蒋聪吉)

huan dianyuan

弧焊电源 (arc - welding power source)

为电弧焊提供电源的设备。弧焊电源是用于电弧焊的特种电源。这类电源除以内燃机为动力的弧焊发电机外,都由 380 V 低压配电网供电,输入功率一般不超过 100 kW,输出电流有的是交流,有的是直流(也有交直流两用的),输出电压不超过 100 V。弧焊电源的负载是焊接电弧。为使电弧稳定燃烧且能适应一定范围的焊接规范,弧焊电源应可调节并使之具有合适的输出特性。

输出特性 弧焊电源的输出特性主要是静态特性(又称外特性)和动态特性。

静态特性表示弧焊电源在不同负载时,稳态负载

电流与输出端电压之间的关系。在正常焊接范围内,电流增加时电压下降率大于 7 V/100 A 的静态特性叫下降特性;电压下降率小于 7 V/100 A 或上升率小于 10 V/100 A 的叫平特性。下降特性中,电流稍有增加电压即急剧下降的叫陡降特性或恒流特性。不同种类的电弧焊对电源的静态特性有不同要求,如表 1 所示。

动态特性是指当负载状态发生突然变化时,输出电流及端电压对时间的关系,用来表征弧焊电源对负载瞬态变化的反应能力。动态特性对用于熔化极电弧焊的直流弧焊电源,特别是弧焊发电机有重要意义。中国对此制订了相应的技术标准,对各项动态特性指标作了规定。

表 1 各种电弧焊适用的弧焊电源静态特性

电弧焊名称	弧焊电源的静态特性		
	交 流	直 流	
	下降特性	下降特性	平特性
手弧焊	适 用		不适用
埋弧焊	适 用		
TIG 焊*	适用,应为陡降特性		不适用
MIG 焊*	不适用	可 用	适 用
MAG 焊*	不适用	可 用	适 用
药芯焊丝焊*	可 用	适 用	
等离子弧焊*	适用,应为陡降特性		不适用

* 见气体保护电弧焊。

分类 弧焊电源可分为交流弧焊电源、直流弧焊电源和脉冲弧焊电源三类。

交流弧焊电源 又叫弧焊变压器。其类别、特点和用途见表 2。在中国,交流弧焊电源额定电流 I 的系

表 2 交流弧焊电源的种类和用途

种 类		结 构 特 征		特 点 和 用 途
串联电抗器式	动铁电抗器式	由平特性变压器和动铁芯电抗器组成,用后者调节电流	分体式—主变压器和电抗器磁路上分成两体	多头式弧焊变压器,一个主变压器附两个以上电抗器,可供几个焊工同时操作
			同体式—主变压器和电抗器磁路上有公共部分	一般容量较大,用作 400 A 以上埋弧焊电源
	饱和电抗器式	由平特性主变压器串联饱和电抗器组成,用后者调节电流		供要求较高的钨极氩弧焊用
增强漏磁式	动铁式	用可动的铁芯为磁分路,变更动铁芯位置,改变变压器一、二次绕组的漏抗,从而调节电流		材料省,体积小,较经济,一般用于 400A 以下手弧焊
	动圈式	改变变压器一、二次绕组的漏抗,从而调节电流		电弧稳定性较好,但较动铁式体积大,费料
	抽头式	一、二次绕组的主要部分绕在两个铁芯柱上,用更换抽头的办法改变漏磁,调节电流		体积小、耗料少,一般制成 160 A 以下小容量,低负载率,适合于小型修配站用



列规定为：100，125，160，200，250，315，400，500，630，800，1000 A；负载电压 $U=20+0.04I$ ，V；额定负载持续率在20%~100%范围内。

直流弧焊电源 分静止和旋转式两类。前者又叫弧焊整流器，后者叫弧焊发电机。其分类、特点和用途见表3。

直流弧焊电源与焊件和电极的连接有正接和反接之分。焊件接电源正极，电极接电源负极的接法叫正接

种，可由相应的直流弧焊电源改制而成。

脉冲弧焊技术已被公认为一种高效、优质的焊接技术，在TIG焊、MIG焊和MAG焊以及等离子弧焊中都得到推广应用。在热敏感性大的高合金钢或稀有金属要求单面焊接双面成形的管件、薄件，以及全位置焊、窄间隙焊等方面，脉冲焊接技术都显示出独特的优越性。

历史和发展 早在20世纪20年代弧焊变压器和

直流弧焊发电机就已得到推广应用。随后，只在结构形式、使用性能和制造技术上有所改进。到了60年代，随着晶体管 and 晶闸管的出现，弧焊电源的发展出现了飞跃。先是研制成功了多种弧焊整流器和脉冲弧焊电源。70年代末80年代初又出现了逆变式直流弧焊电源。随着电子元器件和控制技术的发展，预计直流弧焊电

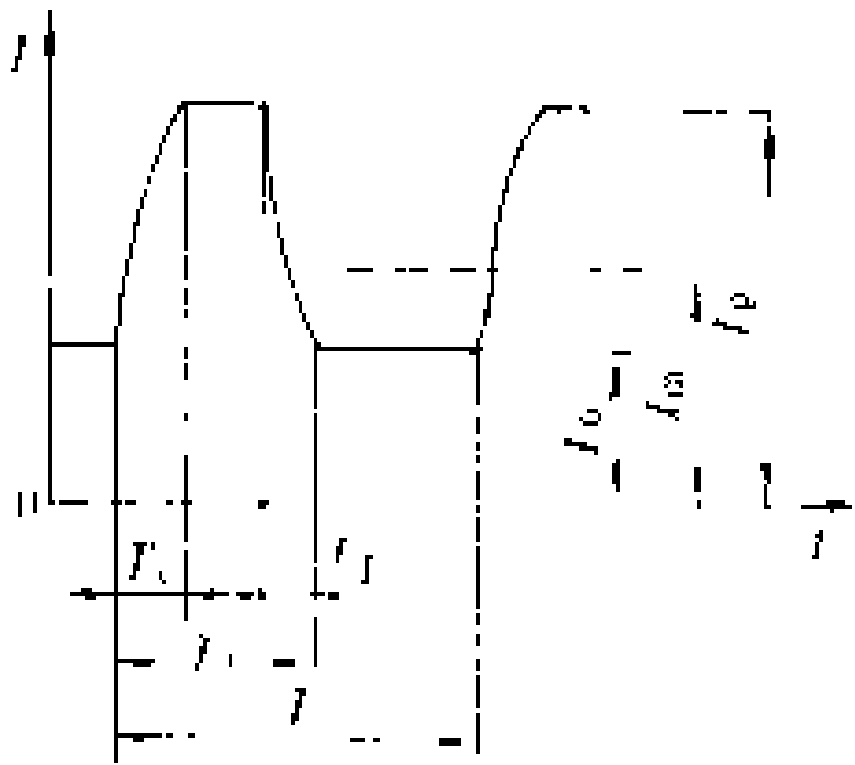
表3 直流弧焊电源的种类和用途

种 类		静态特性	结 构 特 征	一 般 用 途 和 特 点
弧焊整流器	动铁式或动圈式	下降特性	动铁式或动圈式变压器加整流元件组	供采用药皮焊条的手弧焊用
	磁放大器式	平特性或下降特性	平特性变压器加整流元件组，变压器有抽头以调节电压	供一般等速送丝的自动、半自动弧焊机用
	晶闸管式		在变压器接晶闸管整流元件组，带有输出闭环反馈控制以获得所需外特性	可制成供手工、自动或半自动弧焊用的电源。节能，可设计成带起弧控制、电网电压补偿、遥控电弧、推力控制等功能
	晶体管式		在变压器接整流元件组后再接供调节用的大功率晶体管组	可制成供自动或半自动弧焊用的电源。控制灵活
	逆变式	下降特性	由整流器、逆变器、变压器、整流器四级组成	可制成供手工、自动或半自动电弧焊用的电源。体积小、重量轻，效率高
弧焊发电机	电动机驱动的发电机	平特性或下降特性	由电动机、电流调节及指示装置和发电机组成	用于手弧焊、等速送丝自动或半自动电弧焊。效率低、噪声大，材料消耗多
	柴(汽)油机驱动的发电机	下降特性	以柴油机或汽油机驱动直流弧焊发电机	适用于野外，无电源地区作业，例如管道敷设等

或正极性。反之，焊件接电源负极，电极接电源正极的接法叫反接或负极性。焊接时应根据焊接方法、金属种类、接头形式和焊接位置等适当选择极性。

脉冲弧焊电源 与一般直流弧焊电源的主要区别在于能提供周期性交替变化的脉冲电流。如图所示，脉

冲弧焊电源所输出的电流是以直流 I_0 为基础，每隔一定脉冲周期 T （相应的脉冲频率为 $f=1/T$ ），输出一个幅值为 I_p 、持续时间为 T_1 的直流脉冲。 I_0 、 I_p 、 T （或 f ）、 T_1 以及平均电流



脉冲弧焊电流波形

I_a ，脉冲上升时间 T_v ，脉冲下降时间 T_f 等值的大小影响焊接电弧所提供的热功率、电弧的稳定性和熔滴过渡形式等。

脉冲弧焊电源常用的有晶闸管式和晶体管式两

种和脉冲弧焊电源将得到更大发展，电源的调节性能和输出特性将进一步得到改善。另一方面，常规的弧焊变压器，由于体积小、价格低、可靠性较好，在使用面最广的手弧焊领域中也仍将继续发挥其作用。

参考书目

黄石生，弧焊电源，北京：机械工业出版社，1980

（贺耀华 蒋聪吉）

互感器二次负载

（secondary load of current transformer and poential transformer） 电流、电压互感器二次侧接入的有功和无功电能表的电流与电压线圈或其他测量仪表的电流、电压线圈及它们与互感器的连接线，就是互感器的二次负载。

电流互感器二次侧负载以接入的测量仪表、导线等的阻抗总值(Z_b)来表示。其额定二次负载是指在保证准确度条件下，允许其二次侧可接的阻抗总值 Z_n 。当 $Z_b>Z_n$ 时，电流互感器比差与角差增大，影响计量



准确度。因此其二次负载 Z_b 应小于或等于 Z_n ，即 $Z_b \leq Z_n$ 。

电压互感器二次负载以与其二次绕组并联的测量仪表电压线圈的总导纳来表示。电压互感器的额定负载也叫额定容量，指在二次电压为定值，保证准确度的条件下，规定允许接入的负载，通常以视在功率伏安数（V·A）表示。

（陈 楠）

huganqi jianyan

互感器检验（test of current transformer and potential transformer）对投运前和运行期内的互感器进行的交接和预防性试验。互感器检验的目的是保证电能计量装置的准确与可靠。互感器制造厂出厂前除进行本项检验外，还包括其他需要达到的产品质量、工艺水平和技术水平等性能方面的型式试验内容。

互感器检验项目除一般性外观检查、绝缘强度试验、介质损失角正切值测量、油绝缘强度试验、电压互感器空载电流测量外，重点进行绕组极性或接线组别的检查，电流、电压互感器伏安特性试验，电流互感器退磁试验和误差试验。

绕组极性或接线组别检查 极性是指某一瞬间互感器一次绕组与二次绕组电流方向的关系。如方向相反，则一次电压和二次电压相加，称为加极性，反之为减极性。在减极性情况下，对电压互感器而言，加于仪表电压线圈上的电压和一次电压方向是相同的；对电流互感器而言，流过仪表电流线圈的电流和一次电流方向也是相同的。所以一般仪用互感器规定为减极性。检查互感器绕组极性可用比较法或直流法。

电流互感器伏安特性试验 同类型规格的电流互感器应有近似的伏安特性曲线，如果运行中的电流互感器二次绕组发生匝间短路，由于短路电流的去磁作用，使伏安特性曲线显著下降。

电流互感器的退磁试验 电流互感器用直流法检查极性之后或在交流大电流下切断电源以及二次绕组偶然开路的情况下，其铁芯可能产生剩磁，影响互感器的误差特性，因此在误差试验前，应对电流互感器每个铁芯进行退磁。退磁方法有以下几种：①强磁场退磁（也称开路退磁）；②大负荷退磁（也称闭路退磁）；③电流表、电压表法退磁。

互感器的误差试验 电流互感器和电压互感器的误差各国都有限值标准，中国规定的限值见表1、表2。

互感器误差试验方法有两种：①直接法也叫绝对法或电阻法，它是用标准电阻进行测量的。②比较法又叫相对法，它是将被试互感器和标准互感器进行比较，

表 1 电流互感器的误差限值

准确度等级	一次电流为额定电流的百分数 (%)	误差限值		二次负载为额定负载的百分数 (%)
		比差 (%)	角差 (′)	
0.01	10~120	±0.01	±0.3	25~100
0.02	10~120	±0.02	±0.6	25~100
0.05	10~120	±0.05	±2	25~100
0.1	10	±0.25	±10	25~100
	20	±0.2	±8	
	100~120	±0.1	±5	
0.2	10	±0.5	±20	25~100
	20	±0.35	±15	
	100~120	±0.2	±10	
0.5	10	±1.0	±60	25~100
	20	±0.75	±45	
	100~120	±0.5	±30	
1	10	±2.0	±120	25~100
	20	±1.5	±90	
	100~120	±1.0	±60	
3	50~120	±3	不规定	50~100
10	50~120	±10	不规定	50~100

表 2 电压互感器的误差限值

准确度等级	一次电压为额定电压的百分数 (%)	误差限值		二次负载为额定负载的百分数 (%)
		比差 (%)	角差 (′)	
0.01	20	±0.02	±1.6	25~100
	50	±0.015	±0.5	
	80~120	±0.01	±0.3	
0.02	20	±0.04	±1.2	25~100
	50	±0.03	±0.9	
	80~120	±0.02	±0.6	
0.05	20	±0.15	±4	25~100
	50	±0.075	±3	
	80~120	±0.05	±2	
0.1	20	±0.2	±10	25~100
	50	±0.15	±7.5	
	80~120	±0.1	±5	
0.2	20	±0.4	±20	25~100
	50	±0.3	±15	
	80~120	±0.2	±10	
0.5	85~115	±0.5	±20	25~100
1	85~115	±1	±40	25~100
3	85~115	±3	不规定	25~100

(陈 伯)

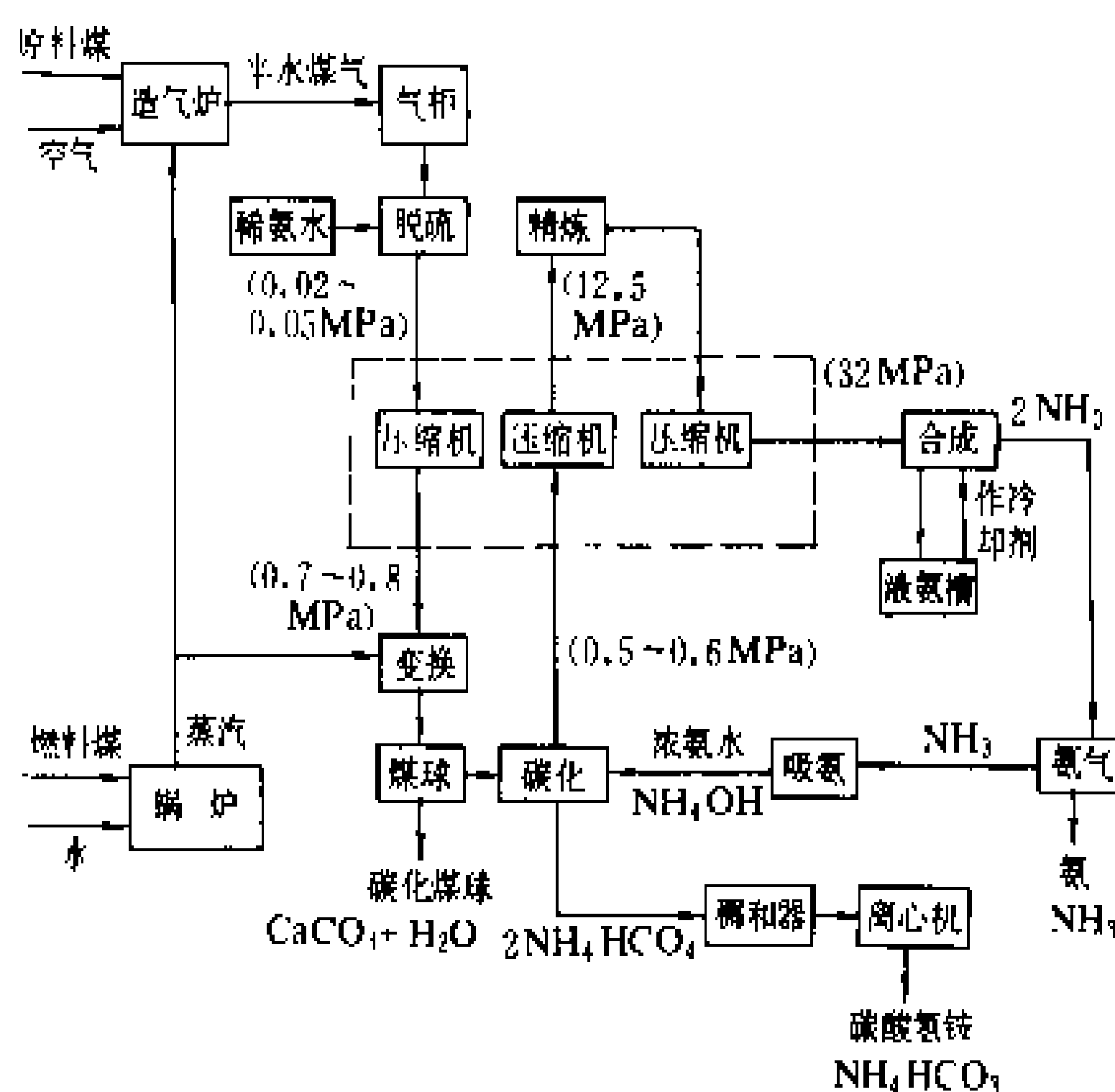
化肥工业用电 (electrical energy utilization of chemical fertilizer industry) 化学肥料又

中国化肥工业是从 20 世纪 50 年代发展起来的, 60 年代建设了一批中、小型化肥企业, 70 年代后又引进了一批技术先进的大型化肥生产装置。

化肥工业用电设备主要有压缩机、泵、风机、电热设备及其他设备等,其中以压缩机的容量和用电量为最大。以用电设备容量为 6700 kW 的合成氨生产厂为例,各类用电设备容量的比例为:压缩机为 45%,泵类为 18%,风机为 14%,电热设备为 10%,其他设备为 13%。化肥工业用电具有负荷曲线平稳,负荷率高,功率因数高和对供电可靠性要求也较高等特点。化肥工业生产过程中遇到突然停电,会造成高压设备载压停车,不仅严重影响设备使用寿命,而且往往会造成整个生产系统瘫痪,甚至造成人身伤亡等严重事故;此外,突然停电会迫使大量排放氨气,不但浪费,而且还会导致氨的不平衡,影响生产的恢复。

高温高压和低温负压共存 化肥生产中使用的造

气炉、转化炉等的操作温度需达到 1000~1450℃ 以上,空气分离装置的操作温度却为 -195℃ 的低温;原料气体压缩机装置的操作压力高达 32 MPa。



合成氨及碳酸氢铵生产工艺流程

易燃易爆 化肥生产过程中,一氧化碳、氢气、碳化氢等高压系统排放的尾气,当与空气混合达到一定浓度时,遇到明火、高温或静电火花就会产生爆炸。

有毒有害 化肥生产用原料气中的一氧化碳、氮氧化物、二氧化硫都是对人可造成危害的有害气体，高浓度的氮气、二氧化碳会使人缺氧窒息。

腐蚀严重 化肥生产中,一些生产介质具有较严重的腐蚀性,如硫化氢、尿素、高温下的氢气等对设备、管道产生腐蚀,造成设备隐患。

用电特点 化肥工业用电具有生产装置大、电气设备多、用电量大、负荷稳定、负荷率高、自然功率因数高、对电气设备性能要求严格等特点。

生产装置大、电气设备多、用电量大。化肥生产主要用电设备是多台大容量高压同步电动机、异步电动机,其次是上千台以至几千台高、低压感应电动机、电加热器等,在工业生产各行业中是耗电大户。由于中国化肥生产装置很大一部分还不够先进,单耗比较高,年产5万t的中型合成氨厂,合成氨的单耗可达2000 kW·h/t左右,年用电量20000万kW·h。

负荷稳定、负荷率高 化肥生产的主要用电设备是 24 小时连续运行,一年中除少数几天检修外,都在工作,生产连续性强,用电负荷比较平稳,负荷率可达 95% 左右。

功率因数高 化肥生产中使用着多台大容量同步电动机使得化肥工业的自然功率因数通常可达 0.90~0.95。

对电气设备性能要求严格 由于化肥生产的特殊性,除要求各种电气设备质量可靠外,还要根据工艺的

工况条件,分别选用隔爆型、本质安全型(安全火花型)、正压型(防爆通风型)、增安型(防爆安全型)等电气设备。

对供电的要求 化肥工业生产工艺流程长,各生产系统密切相关,连续性强,危险性大,一旦发生断电将影响整个生产系统,并有发生中毒爆炸等恶性事故的危险,即使没有造成重大事故,装置全部停车短期也难以恢复正常生产。因此,化肥生产用电负荷属一级负荷。要求化肥生产供电系统必须具备可靠的供电电源及保安电源。一般化肥生产的供电电源多来自区域性变电所,并采用多回路高压供电,在厂区内设置一个或两个主降压变电所,并设置相应的与电力系统并网运行的发电机组,以保证各生产环节的供电。

用电趋势

(1)化肥工业的生产技术发展很快,用能结构发生了很大变化。先进大型化肥生产企业对工艺过程中的废热进行了充分的回收并生产副产品高压蒸汽。用这些高压蒸汽推动的蒸汽透平代替电动机驱动离心式、往复式压缩机和泵类,使化肥单耗大幅度下降,并有效地避免了外供电源故障对工艺和安全生产的影响。

(2)日本、美国等国的化肥生产企业将大功率整流器应用在旋转工作状态,用 2000~5000 kW 无刷励磁同步电动机取代普通同步电动机,收到了安全、可靠的效果,并减少了维修工作量。

(3)美国、日本、法国等国的大多数化肥生产企业采用自备的无刷励磁同轴汽轮发电机组作为保安电源,正常情况下,机组处于热备用状态,当电力系统供电电源中断时,机组立即投入,在十几秒钟内切换到关键负荷母线上,以供给处理事故所需负荷。

(刘志尧)

huaxue dianyuan

化学电源 (electrochemical power source)

将化学能直接转变为电能或将电能直接转变为化学能的贮能或换能装置,又称电化学电池、化学电池,简称电池。电化学电池是电化学体系中的成流体系,其电化学式可写成:⊖电极|电解质|电极⊕,式中“|”表示电极。化学电源是将正、负电极活性物质用隔膜隔开,浸在电解质中,装在容器中构成的。当接通外电路时,在正、负电极和电解质接触的界面上发生电化学反应,释放出电能。电化学电池主要有原电池、蓄电池、贮备电池、燃料电池、光电化学电池等。

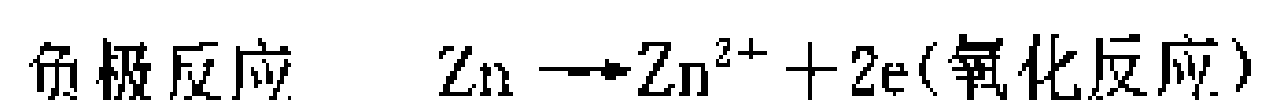
化学电源和机械电源相比,其优点是使用方便,无噪声,性能可靠,转换效率高,对环境的适应性较好,而且其性能参数,如容量、电流、电压以及几何形状等都

可在较宽的范围内设计、选择,但价格较贵。

作为一种独立电源,化学电源的应用范围极广,是某些设施中不可缺少的部分。在日常生活中多用作便携式照明器、应急照明器、计算器、家用电器、电子钟表、助听器、心脏起搏器等电源。在工业中用作控制、信号电源,备用驱动电源,仪器仪表、矿灯等的电源。在交通运输领域中用作电瓶车、搬运车、汽车、列车、船舶、铁路信号、航标灯等的动力、信号、照明等的电源。在通信设施中用作电话、移动无线电信设备的电源。在国防及尖端技术领域用作导弹、鱼雷、卫星、导航飞船等的动力、信号、照明等的电源。

发展简史 化学电池的发展经历了一百余年的历史。早在 1800 年,意大利科学家 A. 伏打(Alessandro Volta)就创造了第一个实用电池。19 世纪 30 年代起,很多原电池开始商品化,其中最重要的是 1868 年发明的勒克朗谢电池。19 世纪末,以法国人 G. 普朗特(Gaston Planté)为开端,瑞典人 W. 琼格纳(W. Jungner)、美国人 T. A. 爱迪生(Thomas Alva Edison)、S. 鲁宾(Samuel Ruben)相继发明了铅酸、镉-镍、铁-镍和锌-汞等电池。1946 年,法国人 H. 安德烈(H. André)首先制成小型、轻量的锌-氧化银蓄电池。第二次世界大战期间制成了贮备电池。1965 年,第一个燃料电池在宇航中获得应用。20 世纪 90 年代已能生产种类繁多、性能各异、适用于有各种不同要求和场所的电池,并且一次电池、二次电池、燃料电池的界限逐渐被打破。电池的发展趋势是:①要求有高能量、长寿的小型及微型电池,以便能长期置入人体或其他器件,或更便于携带;②要求有高比能量、起动性能好、重量轻、寿命长的电池,用以驱动各种电动车辆,代替污染环境的汽车及其他动力车辆的电源;③发展廉价的、利用氢能的燃料电池,以改变能源结构;④要求有适用于多种军事用途的、能长期贮存、高可靠性的各种电池;⑤发展能满足空间探索和海洋开发等尖端技术领域所需要的电池。

原理 电化学体系中的成流体系,即化学电源,是由正、负电极和电解质构成的。负极活性物质发生氧化反应,释放出电子,由负极流经外电路传递到正极。正极活性物质接受电子发生还原反应。电解质中的阴、阳离子则借电解质的离子导电作用,在电池内部两极间传输电子,形成闭合的导电回路,产生由化学能直接转换来的电能。以图示的丹尼尔电池为例,金属锌和铜分别与其硫酸盐溶液接触,中间隔以多孔的绝缘材料制成的隔膜,就构成一个简单的电池。其电化学式可写成:(-)Zn|ZnSO₄|CuSO₄|Cu(+),式中“|”代表隔膜。电池反应如下:



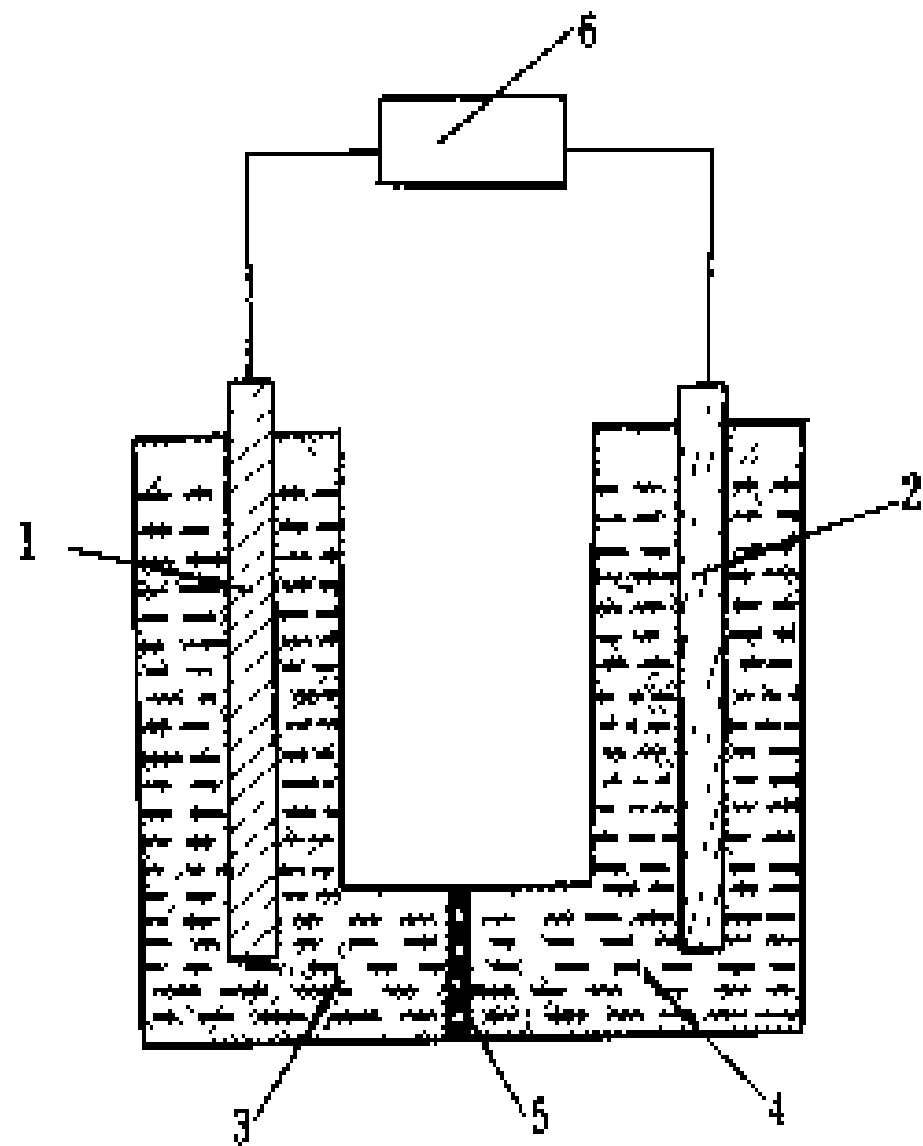


正极反应 $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e} \rightarrow \text{Cu}$ (还原反应)

电池总反应 $\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \xrightleftharpoons[\text{充电}]{\text{放电}} \text{Zn}^{2+} + \text{Cu}$

电池中产生电能之物质，如丹尼尔电池中的锌称为负极活性物质，铜称为正极活性物质，通称活性物质。

结构 化学电源主要由：正极活性物质、负极活性物质、电解质、隔膜和容器五部分组成。正极活性物质常用各种金属氧化物、卤素及卤化物、氧或含氧酸盐等。负极活性物质则用各种电极电位较负的金属或氢。电解质多用酸、碱和盐的水溶液，也有采用熔融盐或固体电解质的。隔膜常用微孔橡胶、塑料、纤维素薄膜等。容器多用橡胶、塑料、玻璃、镀镍钢或不锈钢等耐腐蚀材料，作成圆筒形、长方形、钮扣形等敞口的或密封的电池。



丹尼尔电池示意图

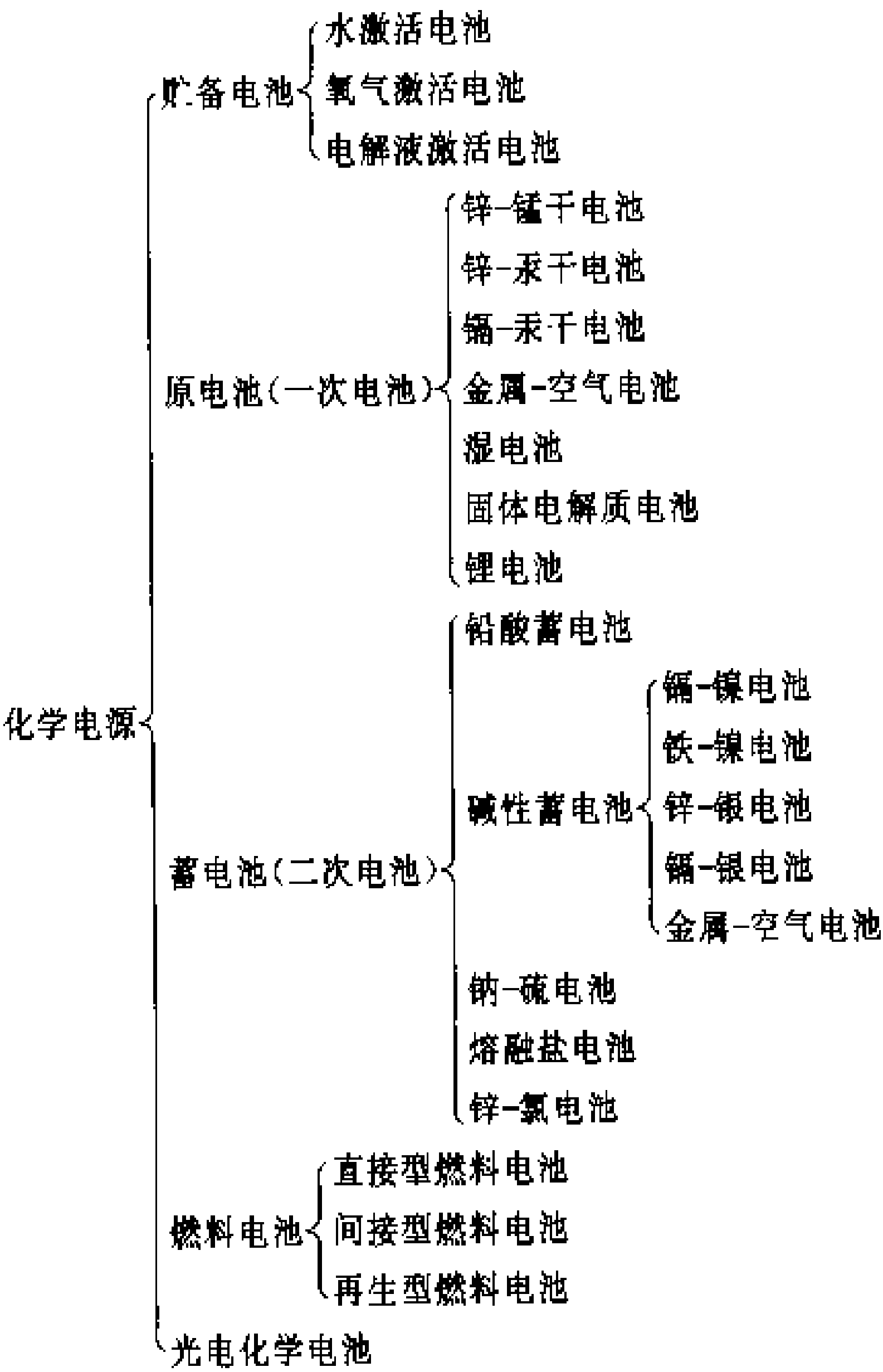
1—铜正极；2—锌负极；3—硫酸铜溶液；4—硫酸锌溶液；5—多孔隔膜；6—负载

分类 按工作性质来说，电池正、负极因氧化、还原反应放电消耗的活性物质，用充电方法可得到恢复，即反应是可逆的，则所构成的电池称为蓄电池，又称二次电池。相反，若反应只能在一个方向上进行，即不可逆反应，则构成的电池称为原电池，又称一次电池。此外，就其反应性质虽属蓄电池，但为克服其湿贮存期间的自放电问题，又能满足随时使用的需要，而设计成使用前可以快速激活的一次电池，称为贮备电池。若两个电极的反应物和生成物不是贮存在电池内部，而是由外部连续不断供给和从电池中及时排除的，这类电池称为燃料电池。利用光电化学反应产生电动势和电流的电池称为光电化学电池。

化学电源种类繁多，除上述以工作性质来分类外，还可按所用的电解质分类为：水溶液电解质（又分为酸性、碱性和中性电解质）电池、有机电解质电池和固体电解质电池等。市场出售和研制中的电池见表。

性能指标 电池种类繁多，选用时必须了解其性能。电池的主要性能指标有：开路电压、工作电压、容量、使用温度、寿命和贮存期，以及特定使用条件所需具备的特殊性能。

(1) 开路电压：外电路断开时两电极间的电位差。



(2) 工作电压：接通负载时两电极间的电位差。输出电流越大工作电压越低；以一定的电流放电时，工作电压随时间的延续而下降，降至终止电压电池就不应该再使用。

(3) 容量：电池在一定的放电速率、一定的温度下能释放的电量，用 $\text{A} \cdot \text{h}$ (安·时) 表示。每种电池都有其额定容量，放电速率快、输出电流大、工作温度高都将减少电池容量。电池的单位质量包含的电量称为质量比能量，用 $\text{W} \cdot \text{h}/\text{kg}$ (瓦·时/千克) 表示；单位体积包含的电量称为体积比容量，用 $\text{W} \cdot \text{h}/\text{L}$ (瓦·时/升) 表示，有时也用安·时代替瓦·时。质量比能量、体积比能量通称比容量，是电池性能的重要指标。

(4) 使用温度：各种电池都有一定的使用温度范围，超出该范围时，电池不能工作，甚至损坏。

(5) 寿命和贮存期：电池有规定的贮存期，超期将因自放电消耗而失效。蓄电池有规定的使用年限或充、放电循环次数，超期或超过允许循环次数，容量下降至额定容量的 80% 以下寿命即终止。

(6) 其他：对用于特殊场合的电池，要求其有抗震、耐冲击、防爆、耐压以及重量轻、体积小等不同的性能。

参考书目

卢国琦，化学电源工艺学，哈尔滨：哈尔滨工业大学出版社，1979

徐国亮, 新型化学电源, 北京: 国防工业出版社,

1984

(崔淑玉)

huaxue gongye yongdian

化学工业用电 (electrical energy utilization of chemical industry) 广义上讲, 化学工业是指用化学方法改变物质组成或物质结构或合成新物质而得到新产品的工业。由于此范畴内的金属、石油化工、建材、轻工食品等已成为独立工业部门, 因此, 化学工业, 主要指生产作为基本化工原料的酸、碱、盐和有机化工原料的工业, 生产作为合成材料的合成树脂、合成橡胶、高分子材料、高分子聚合物的工业, 以及生产生物工程、精细化工产品的工业, 还有生产用于农业的化学肥料、农药等的工业。

化学工业主要用电设备有用高压电动机拖动的气体、液体压缩机, 鼓风机, 离心泵, 大功率工业电石炉, 电解槽, 电热器等。由于化学工业是连续性生产, 具有高温、高压、易燃、易爆、腐蚀毒害等危险因素, 因此, 化学工业的用电性质、用电负荷具有以下主要特点:

(1) 供电可靠性要求高。大多数化学工业关键生产工艺流程用电负荷属于一级用电负荷, 一旦停电, 将会造成化工装置爆炸、起火, 人身中毒等恶性事故。因此, 化学工业生产必须具备可靠的供电电源。化工厂的供电多采用来自公用电力系统的多回路高压供电, 或由并入电力系统的自备电站发电机组供电。

(2) 用电量。化工装置连续运行, 电力负荷集中, 用电量很大。以 1990 年为例, 化学工业用电量占全国用电量的 14%, 这些电能主要用在有机化工原料、无机化工原料以及化学肥料的生产上。

(3) 电力负荷平稳、负荷率高。化工生产连续性强, 电力负荷比较均衡, 负荷率可达 95% 以上。

(4) 采用增安型电气设备。由于化工生产存在易燃、易爆、腐蚀等危险因素, 因此, 对于存在这些危险因素区域多采用防爆、防腐、防尘等增安型电气设备, 以避免电气事故的发生。

(刘志尧)

huaxue xianwei gongye yongdian

化学纤维工业用电 (electrical energy utilization of chemical fibre industry) 化学纤维分人造纤维和合成纤维。用天然高分子物质为原料制成的纤维为人造纤维, 如粘胶纤维等。用合成高分子物质制成的纤维为合成纤维, 其中聚酯纤维又称为涤纶。聚酰胺纤维又称为锦纶, 聚丙烯腈纤维又称为腈纶, 聚乙烯醇纤维又称为维纶, 聚丙烯纤维又称为丙

纶等。

人造纤维的原料来自各种天然植物, 经化学、机械加工而成的浆粕; 合成纤维的原料来自煤加工、石油化工合成的乙烯、丙烯、聚酯等(见石油化学工业用电), 经加工而成的初级产品单体。化学纤维工业生产可分为纺丝液制备、纺丝成形和后处理三个阶段。粘胶纤维、涤纶、锦纶的生产工艺流程分别见图 1~图 3。

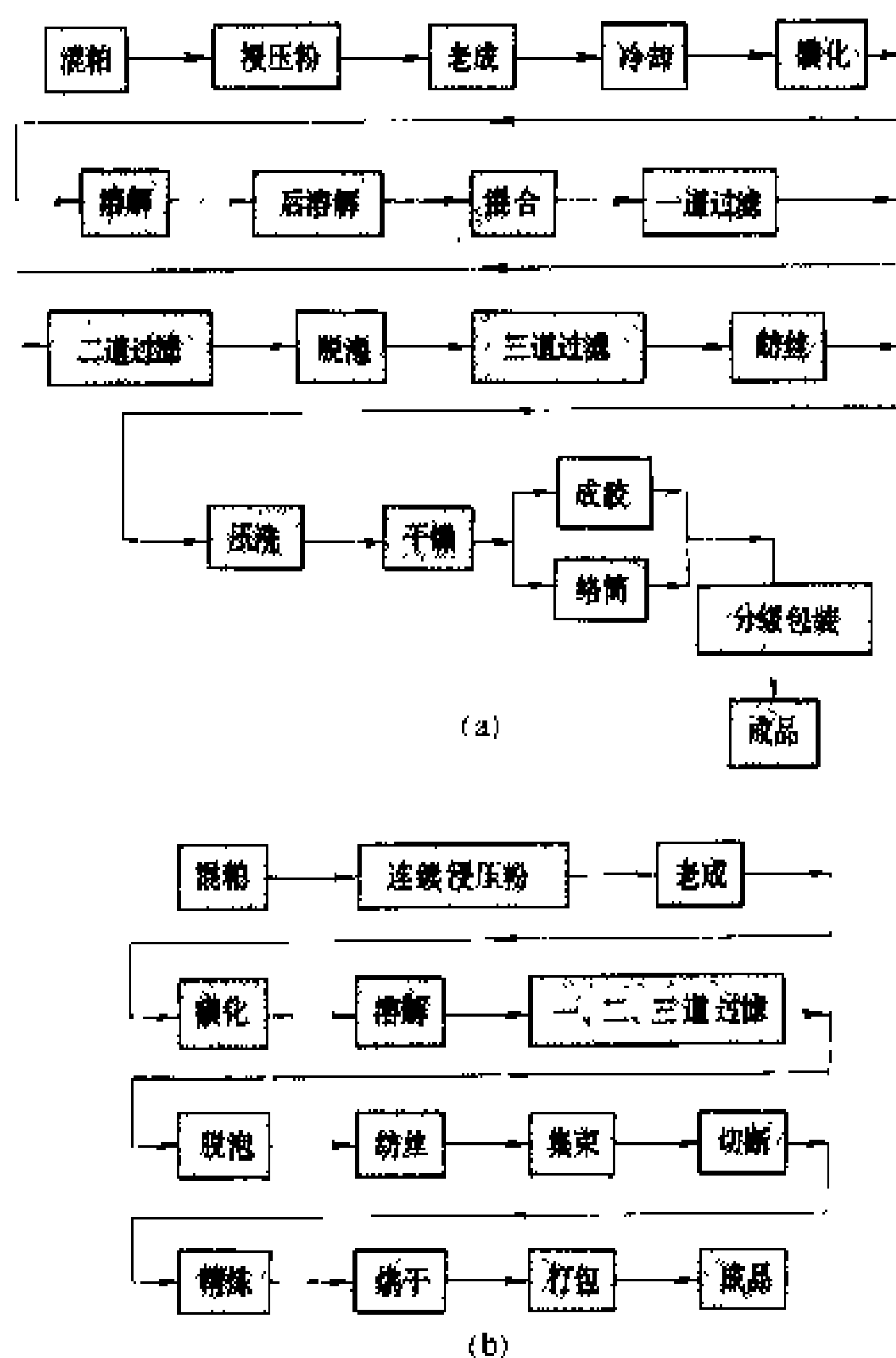


图 1 粘胶纤维生产工艺流程
(a) 长丝生产工艺流程; (b) 短纤维 (棉型和毛型) 生产工艺流程

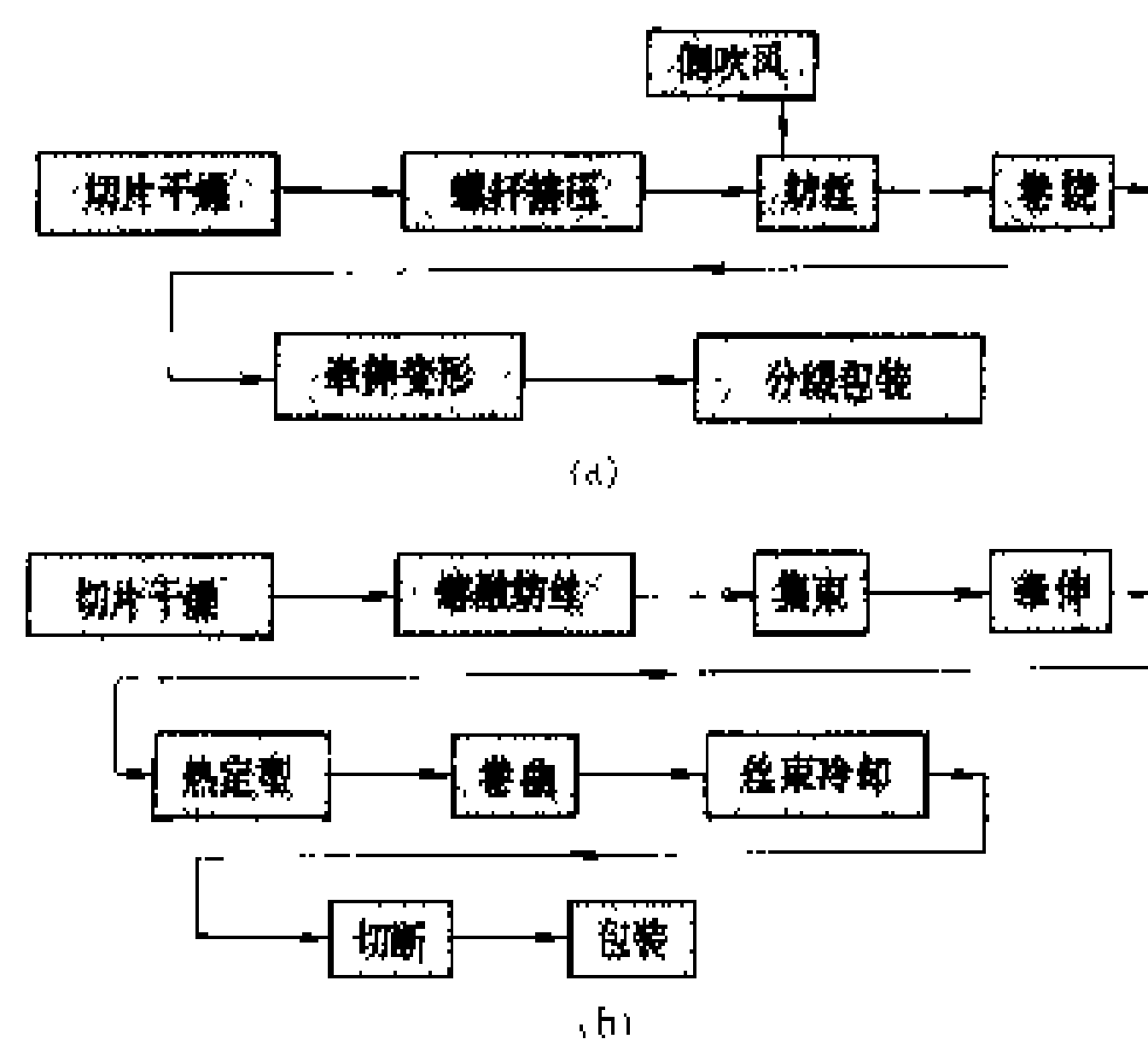


图 2 涤纶生产工艺流程
(a) 长丝生产工艺流程; (b) 短纤维生产工艺流程

化学纤维生产为三班连续生产, 生产中有气体、粉尘和烟雾, 易燃、易爆, 对人体有害, 生产自动化水平



1990 年中国几种化纤产品用电单耗 (kW · h/t)

粘胶纤维		涤纶		锦纶	腈纶	维纶
短丝	长丝	短丝	长丝			
1999.78	10439.99	749.35	2678.96	3564.92	1548.23	2391.23

(陈金镜)

换气扇 (ventilating fan) 由电动机带动风叶旋转驱动气流,使室内外空气交换的一种空气调节器具,又称通风扇。换气扇能排除室内污浊空气,吸进新鲜空气,调节温度、湿度,促进空气对流。对于有污染及有毒气体的场所,使用换气扇能起到通风防毒、确保安全的作用。换气扇和其他空气调节器具配合使用,能改善通风效果。

换气扇在日本发展较快,1958年开始上市,早期的产品只有单向排气工作状态(属隔墙型),称为排气(风)扇。1964年出现百叶窗式换气扇,70年代已在日本普及。中国广东省江门市家用电器工业公司1974年首先生产200mm开敞式单向家用换气扇,1979年生产200、250mm百叶窗式换气扇。沈阳市排风扇厂于1976年开始生产300mm金属型百叶窗式排气扇。换气扇已从风压式、联动式向管道式、自动开启式、热交换式等多种型式发展。

百叶窗式双向换气扇结构

流式(空气由平行于转动轴的方向进入,平行于轴的方向排出)、横流式(空气的进入和排出均垂直于轴的方向)。

结构 百叶窗式换气扇是使用最广泛的换气扇,由电动机、扇叶、风框、面板、百叶窗以及专用的拉线开关等附属元件组成(见图)。电动机一般是单相电容运转异步电动机,150 mm 规格以下的换气扇也采用罩极式电动机。扇叶一般用 ABS、AS 工程塑料制造,重量轻而强度高。风框通常用薄钢板冲压和点焊制成,也有采用塑料注塑成形。面板采用塑料注塑成形。百叶窗通常采用薄钢板或马口铁冲压成形。

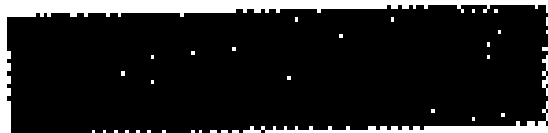
换气扇的规格,按其扇叶直径分为 100,150,200,250,300,350,400,450,500 mm。

(孙星谋)

The Answering

混合照明 (mixed lighting) 由一般照明与局部照明组成的电气照明(见照明分类)。

中国《工业企业照明设计标准》规定 I ~ V 级照明场所均可使用混合照明。另外中国《民用建筑照明设计标准》也规定,当一般照明或分区一般照明不能满足要求时,应增设局部照明。某些小范围内要求较高的照度,室内工作位置的密度不大,为了节约能源宜采用混合照明。有的场所需要改变光的方向,辨认视看对象的形状和质地时,应采用混合照明。



当工作地点附近因生产条件限制无法固定局部照明器时，不能采用混合照明；在室内工作位置密度很大采用混合照明不合理时，宜单独设置一般照明而不用混合照明，但是所有的工作场所不应只设局部照明。

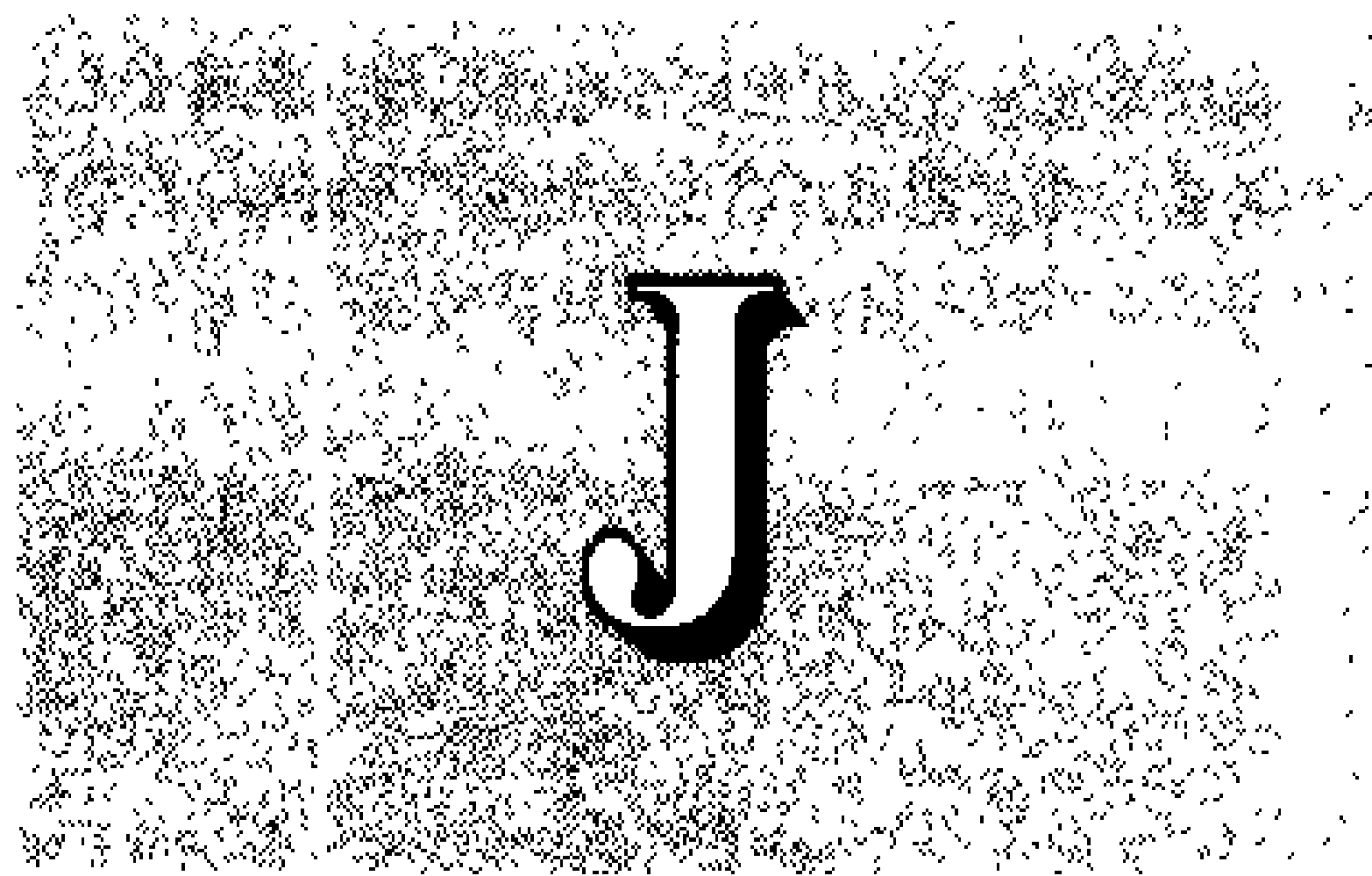
有些场所单独使用一般照明达到很高的照度虽然是可能的，但耗电量指标很高，采用混合照明可降低耗电量，出于经济的考虑，此时推荐使用混合照明，如设计室、绘图工作室等。

混合照明中局部照明与一般照明的照度数值应有一定的比例。一般照明照度不应低于混合照明照度的

10%，如果一般照明照度很低，房间内形成亮度分布不均、感觉昏暗会影响视觉工作。因此，照明设计标准规定：一般照明的照度不宜低于 30 lx，对气体放电灯不宜低于 50 lx。

中国照度标准 I ~ V 级推荐两种照明方式，可用单独一般照明或混合照明方式，但二者的可见度不同，工作的视看难易程度不同。混合照明方式可见度较高，单独一般照明方式可见度较低。在高精细作业范围内应尽量采用混合照明方式，在一般作业范围宜采用单独一般照明方式。

（赵振民）



jixie gongye yongdian

机械工业用电 (electrical energy utilization of machinery processing industry)

机械工业是为国民经济生产技术装备的基础工业。中国的机械工业产品有 4000 多种。根据产品种类和加工工艺的不同,机械工业可划分为 130 多个小行业。主要产品有机床工具,重型机械,电工器材,仪器仪表,通用设备及基础件,冶金、石油化工、采矿、农牧、轻工、食品、纺织、建筑、工程、电站、交通运输等专用机械。

机械工业的基本生产过程可分为四个环节:①经冶炼、铸造、锻造或焊接把金属材料制成毛坯;②将毛坯经机械加工和热处理制成零部件;③加工好的零部件经装配喷漆成为产品;④试验、检验、试车。

机械工业企业大多数是一班制或两班制生产。其用电设备绝大部分是感应电动机。在生产时间内,设备开停操作频繁,设备的利用率通常很低,许多设备经常处于轻载或空载状况。如大部分机床负载率经常在 45% 以下;有些设备工作时间仅占通电时间的 50% 左右;有些大型机床、试车设备容量虽很大,但利用率却非常低,有的一个月中仅用几天,有的停用时间甚至还要更长;各类输送机、熔化和热处理设备也经常处于轻载。因此,这个行业的用电有一天之中负荷变化大、功率因数低等特点。

用电设备及运行特点 机械工业的用电设备按使用目的可分为生产设备、辅助生产设备和生活设施。生产设备指与产品加工直接有关的设备。辅助生产设备与产品加工有间接关系,如制造含能工质(如风、水、汽、气等)的设备,起重、运输、环保、安全、照明等设施。生活设施主要指采暖、空调、供水等生活服务设施。

生产设备 按加工工艺可分为热加工和冷加工两类。

(1) 热加工用电设备用于完成冶炼、铸造、烧结、干燥、金属材料和工件的热处理等工艺,主要设备有电热炉窑和配合炉窑工作的锻压设备。电热炉窑有:炼钢电弧炉,感应熔炼炉,粉末冶金烧结炉,型砂、砂轮、

变压器、电机的干燥室,油漆电热烘干室,热处理箱式、井式、台车式电阻炉,电热浴炉,真空热处理电炉,各种连续式热处理电炉,金属材料感应加热装置或电阻加热装置等。

电热炉窑工作时按工艺温度曲线加热,一般经历升温、保温和冷却三个阶段。升温阶段,耗电量较多;保温阶段,由温控装置控制断续供电或控制供电电流的大小;冷却阶段一般断电。周期工作的炉窑在工作期内用电负荷是变化的。连续式炉窑在炉内不同区域装设不同功率电热元件,各区段控制在不同的温度范围内。工件由传送装置带动通过炉内不同区段即完成了升温、保温和冷却三个阶段,因而用电负荷较稳定。

由于电热炉窑一般耗电功率大,工作持续时间长,因而占用工厂较大用电负荷。中型企业热处理车间用电量高达全厂用电量的 1/3。在电力供应紧张情况下,电热炉窑应尽量躲开用电高峰时间运行。

电热炉窑的电能利用率取决于设备本身技术状况、装料的多少和生产调度。集中连续开炉、提高装载率是提高电能利用率的有效措施。

用于热加工的锻压设备如水压机、空气锤等多以电为动力,通过电动机直接或间接地把电能转换成机械能对已加热的金属材料加工。

一般把电焊机、电切割设备也算在热加工设备中。

(2) 冷加工用电设备主要有金属切削机床和冷锻压设备。金属切削机床有车床、铣床、镗床、刨床、磨床、钻床、电加工机床、加工中心以及齿轮、螺纹、弹簧加工机床等。冷锻压设备主要有冲床、冷锻、冷挤压、冷墩、冷拔等设备。

金属切削机床除电加工机床外都是用电动机驱动的。较大型机床的主轴、刀具、平台行走机构分别由不同的电机驱动。上述部件速度的变换是通过齿轮变速箱分级变速或直接改变电动机转速实现无级变速的。应用微电子技术的数控或微机控制的精密机床的刀具平台行走机构通常由步进电动机驱动。机床主轴电动机的负载是随加工件的大小和吃刀量而变化的。机床电动机的功率是按机床最大加工能力选用的,一般工作时不能达到满载,加工小型零件的机床负荷率经常低于 50%。

锻压机床每完成一次冲压动作需经过一个周期的时间。在这个周期内大部分时间是把工作锤头移到相应位置,这时电动机处于轻载状态,仅在锤头与工件相接触并施加压力的时间,电动机才处于重载状态。剪板机、冷墩机、平板机等都属于这种工作方式。冷拔、冷拉、冷挤压设备用于电线电缆行业,工作是连续的,用电负荷是稳定的。

电镀、化学加工和喷漆等金属表面处理设备也是

直接或间接以电为动力完成加工的。如喷漆一般以压缩空气为动力,而空气压缩机是由电动机驱动的,喷漆车间的风机也是电动机驱动的,这些设备的用电负荷一般较稳定。

辅助生产设备 耗电较多的有空气压缩机、制氧机、生产用锅炉、液化石油气混气设备、风机、水泵、恒温车间空调设备等。这些设备随生产班次运行或常年运行,用电负荷稳定。用电量和电力负荷占用较大比例。空压机的用电量在某些中型企业可占全厂用电量的 $1/3$ 。

生活设施 主要有深井泵和采暖锅炉,前者常年工作,后者仅在冬季采暖期运行。在中、小型企业,锅炉用电负荷约占 $10\% \sim 30\%$ 。

供电方式 机械工业企业一般在工厂区内靠近负荷中心设变电所,将 10 、 35 kV (或 110 kV) 高压电经变压器变成低压 380 V (或 $6 \sim 10$ kV) 再送到使用地点。大、中型企业除设总变电室外还在车间设分变电室。一般总变电室向车间变电室送 10 kV 高压电,经变压器降压后再送到用电设备,目的是减少配电损失。供电方式有环型和树枝型两种。前者供电可靠性高,便于变压器并联运行及经济运行。低压供电一般采用变压器中性点直接接地的三相四线制。炼钢电弧炉用专用的电炉变压器供电。

机械工业用电设备种类繁多,大小不一,绝大多数设备直接使用低压交流电作为动力。由低压电动机驱动的设备使用三相 380 V 交流电,个别设备如照明、某些电炉或电焊机使用单相 220 V 交流电。大型空压机、水泵等设备使用 6 kV 高压电并由同步电动机驱动。

电镀、龙门刨床、龙门铣床和直流电弧炉是通过硅整流器、晶闸管整流器或电动机发电机组把交流电变成直流电用来驱动设备工作。

中国使用的交流电频率为 50 Hz,国外有的国家为 60 Hz。按上述两种频率设计制造的机电设备只能按各自规定的频率使用。有些设备带有专用变频装置供给自身非工频交流电源,如中频感应式电热熔炼炉、高频淬火机床、超高频设备及变频调速设备等。

用电特点 机械工业用电具有用电负荷变化大、自然功率因数低等特点。

用电负荷变化大 机械工业由产品种类决定的生产方式分为连续生产和非连续生产。电线电缆企业一般为连续生产,重型机械企业除冶炼工序外多为二班制,机床及其他专用机械制造工厂多为三班制或一班制。图 1 和图 2 分别为重型机器厂和机床厂典型用电负荷曲线。

自然功率因数低 由于用电设备中有大量感性负荷,自然功率因数低于 0.8 。补偿方式是在总变电室和

分变电室装设补偿电容器集中补偿和在用电设备处就地补偿以及大型设备使用同步电动机等(见用电无功补偿装置)。由于用电负荷变化及生产不连续,应随时调整电容器的投入量以避免过补偿引起电压过高产生危害。

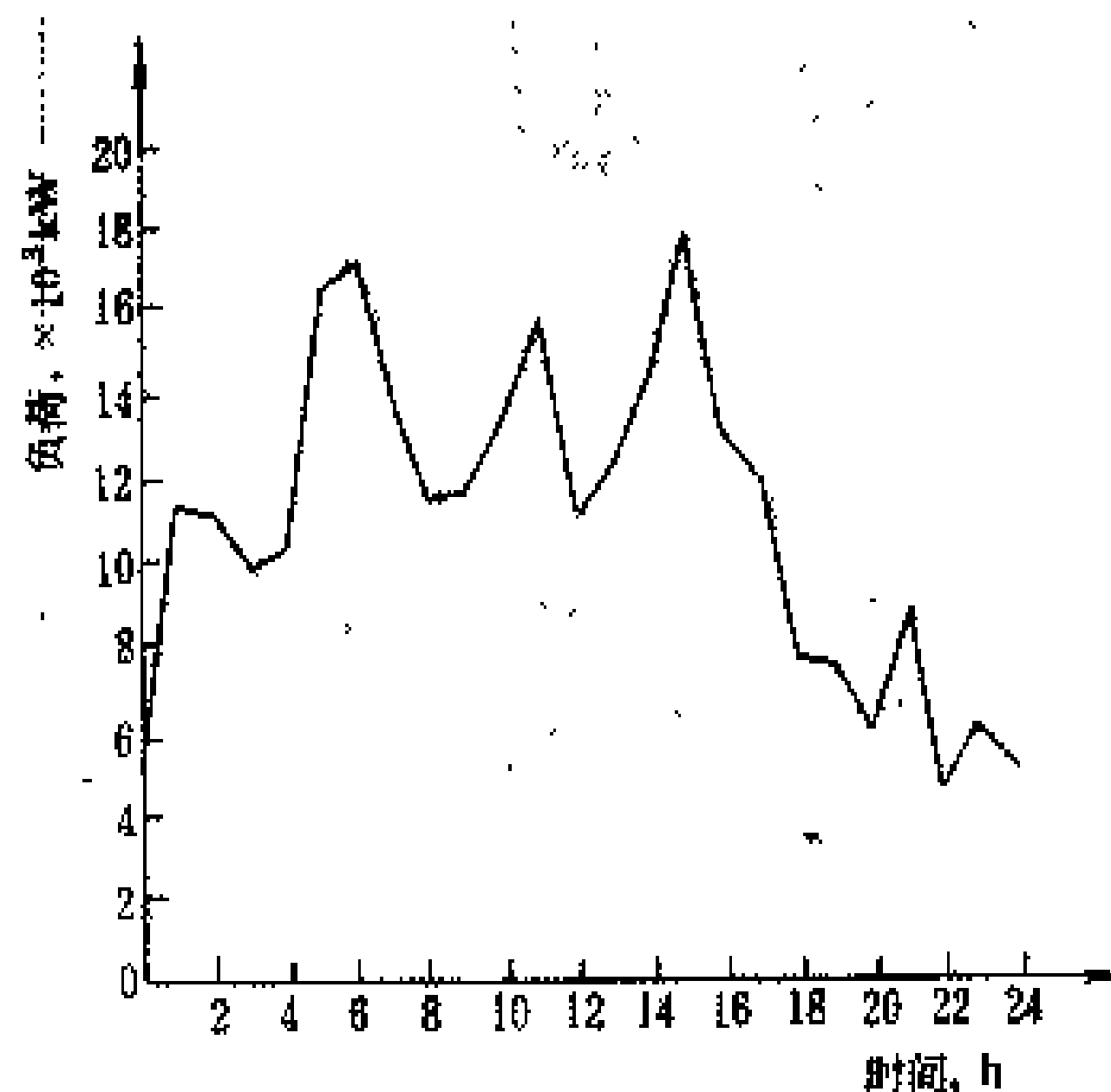


图1 某重型机器厂的日用电负荷曲线

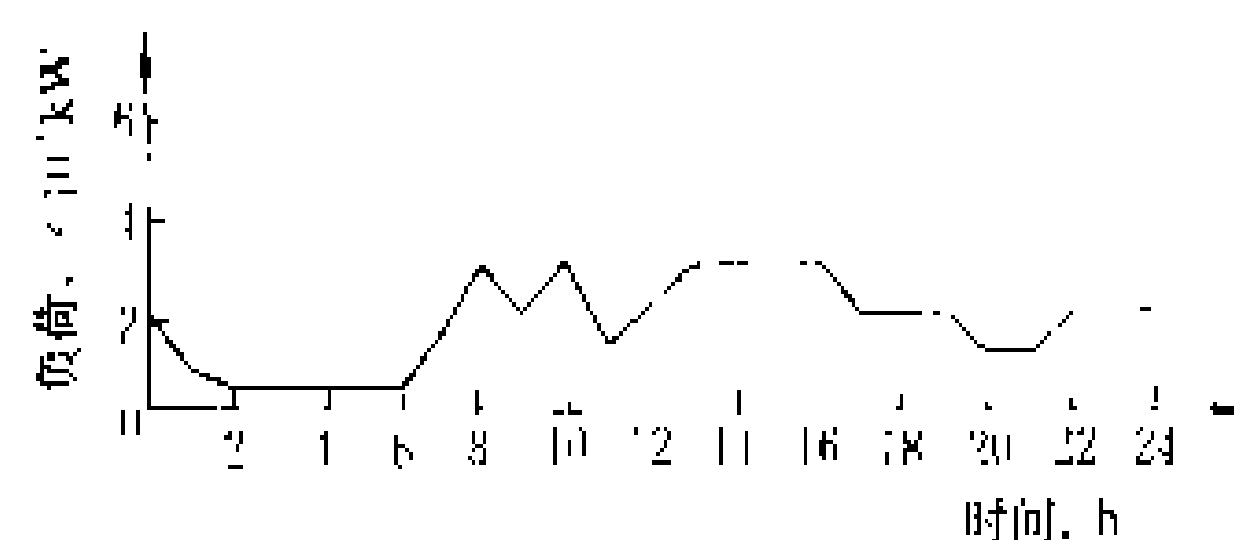


图2 某机床厂的日用电负荷曲线

节约用电 机械工业节约用电可从管理措施和技术措施着手。节电管理措施主要有:建立完善的用电管理机构和管理体系,制订合理的用电管理制度、奖惩制度,加强生产调度,电热设备集中连续开炉,对车间实行定额考核、节奖超罚。中国机械电子工业部自1987年以来已陆续制订了炼钢电弧炉、热处理电炉、感应式熔炼炉、空压站、氧气站等炉窑站房分等能耗标准。标准按产品可比用电单耗分特级和国家一、二、三级在全行业进行考核。节电技术措施主要有:①用高效节能型的机电设备如节能型电动机、变压器、风机、水泵、电热设备及新型高效电光源等代替低效设备。②合理选用电动机、变压器容量,使用电设备经济运行,避免大马拉小车;轻载的金属切削机床和锻压机床加装轻载节电器;电力变压器经济运行;合理补偿功率因数。③应用新技术改造设备。用硅酸铝耐火纤维和轻质砖改造电炉;用高压硅堆和晶闸管自动调压装置代替闸流管改造高频淬火机床;远红外技术用于电热干燥;照明光控装置;盐浴炉快速起动装置等。④采用先进的控制方式。用晶闸管和半导体无触点电路代替继电器、接触器控制电路;采用数控和微机程序控制方式。⑤余热利用。利用锻造余热进行热处理,节省二次加热耗电;大



型蒸汽锅炉实行热电联产。⑥含能工质管网的合理布置与无泄漏。⑦降低熔炼设备电耗。改善电炉变压器的冷却；加大变压器的功率，按照供电曲线运行；就地补偿动态无功功率；合理改造和布置短网结构；采用电磁搅拌；用直流电弧熔炼；采用先进的控制装置降低控制系统的惯性；采用吹氧工艺及加强炉料配比管理等。

(王为福)

jizubianpin tiaoosu
机组变频调速 (speed control motor by frequency-adjustable synchronous generator)

用变流机组控制同步发电机的转速，从而改变同步发电机输出电压的频率对由同步发电机供电的交流电机进行调速的技术。这是一种最早的变频调速方式，仅用于调速范围不大而且对调速性能要求不高的场合。

机组变频调速系统的示意图如图 1 和图 2 所示。

同步发电机以直流电动机为原动机。直流电动机由旋转变流机组(图 1 的交流电动机-直流发电机)，或静止变流机组(图 2 的整流变压器-离子或半导体整流器)供电。调节变流机组的输出电压就可以控制直流电动机的转速，从而控制同步发电机输出电压的频率，对由同步发电机供电的交流电动机进行变频调速。

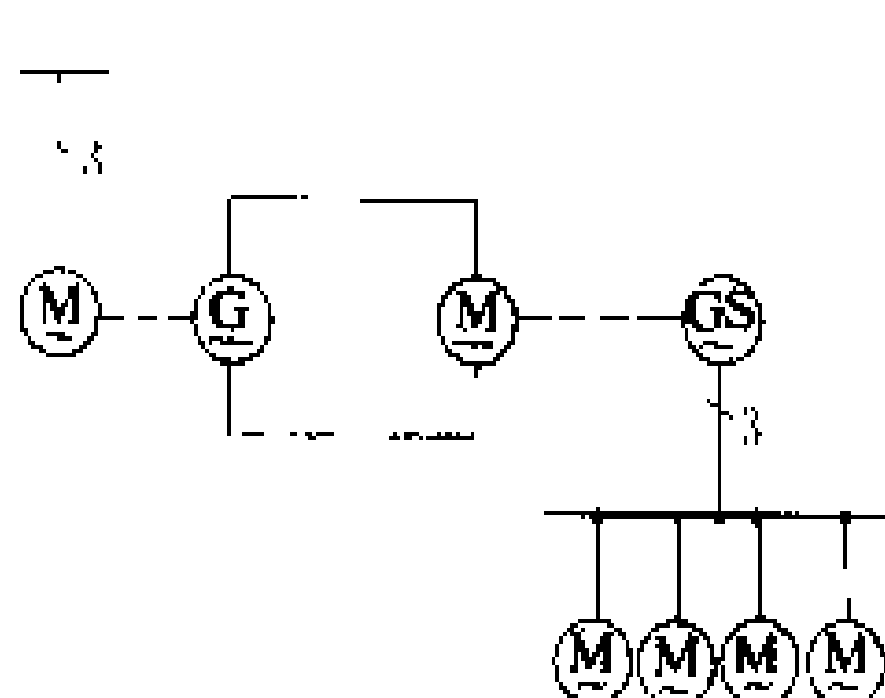


图 1 旋转变流机组变频调速系统示意图

GS—同步发电机；M—直流电动机；M—交流电动机；G—直流发电机

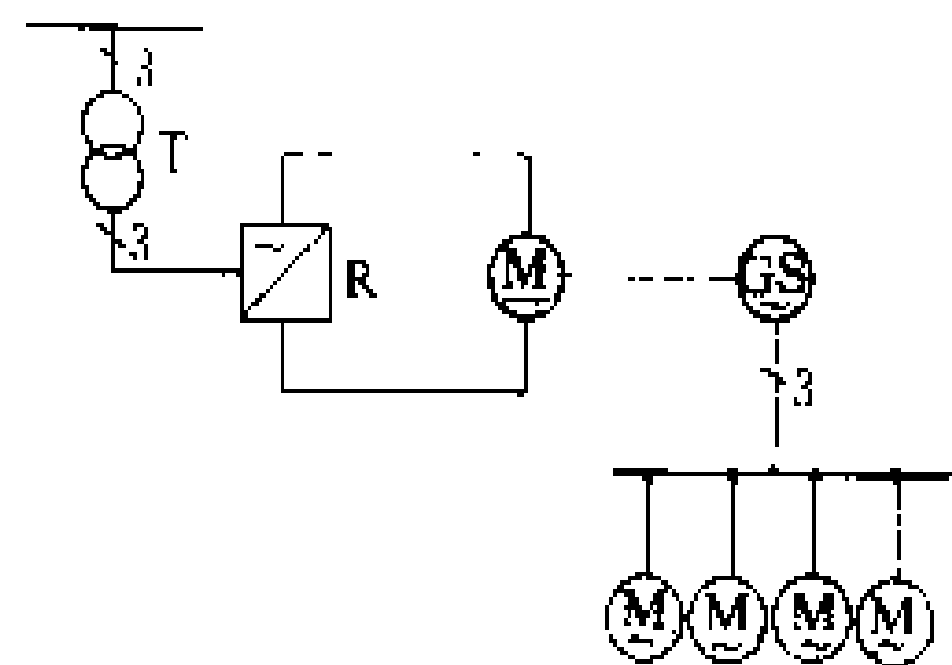


图 2 静止变流机组变频调速系统示意图

T—整流变压器；R—离子或半导体整流器

为了满足变频调速恒转矩的特性，应使同步发电机输出电压幅值 U 与频率 f 之比保持不变，即在调频的同时必须调节电压。通常是控制原动机的转速来调频，控制同步发电机的励磁来调压。

机组变频调速系统有两个调节系统：一是原动机的速度调节系统；使原动机的速度能跟随频率给定值；另一是同步发电机的电压调节系统，使同步发电机的输出电压能跟随电压给定值。由于频率和电压给定值

是由同一给定装置给出，因而能保证 U/f 为一常数以满足变频调速恒转矩的要求。(见交流电动机调速)

机组变频调速系统中的直流电动机最初是由旋转变流机组供电(图 1)。后来随着电力半导体技术的发展，旋转变流机组由静止变流机组，即由汞弧整流器及后来的晶闸管整流器(图 2)所取代。但是，不论哪种方式，机组变频装置总的安装容量都要比由其供电的变频调速电动机的容量至少大 4 倍以上，所以这种调速方式投资贵、占地面积大、损耗高、效率低，实际上已基本被淘汰。

(叶 王)

jiben dianfei
基本电费 (basic cost)

用户不论实际是否使用电能，都需要承担的电费。电力企业的生产成本中，一部分是不随发供电量多少而变动的成本，如固定资产的维护、折旧等部分，称为固定成本；另一部分是随发供电量变化而变化的成本，如消耗的发电燃料费用等部分，称为变动成本。把电力企业向用户收取的电费相应分为基本电费和电度电费，分别补偿以上两项成本支出是世界各国计算较大电力用户电费的通用办法。这种办法称为两部制电价。它有利于用户公平合理地负担发供电成本，有利于促使用户提高用电负荷率，从而降低电力企业的发供电成本和降低总电价水平。

基本电费的计算有两种办法，一种是按用电量最大需量计算，另一种是按用电容量计算。中国对用电容量在 315 kV·A 以上的用户执行两部制电价。

(王世煜)

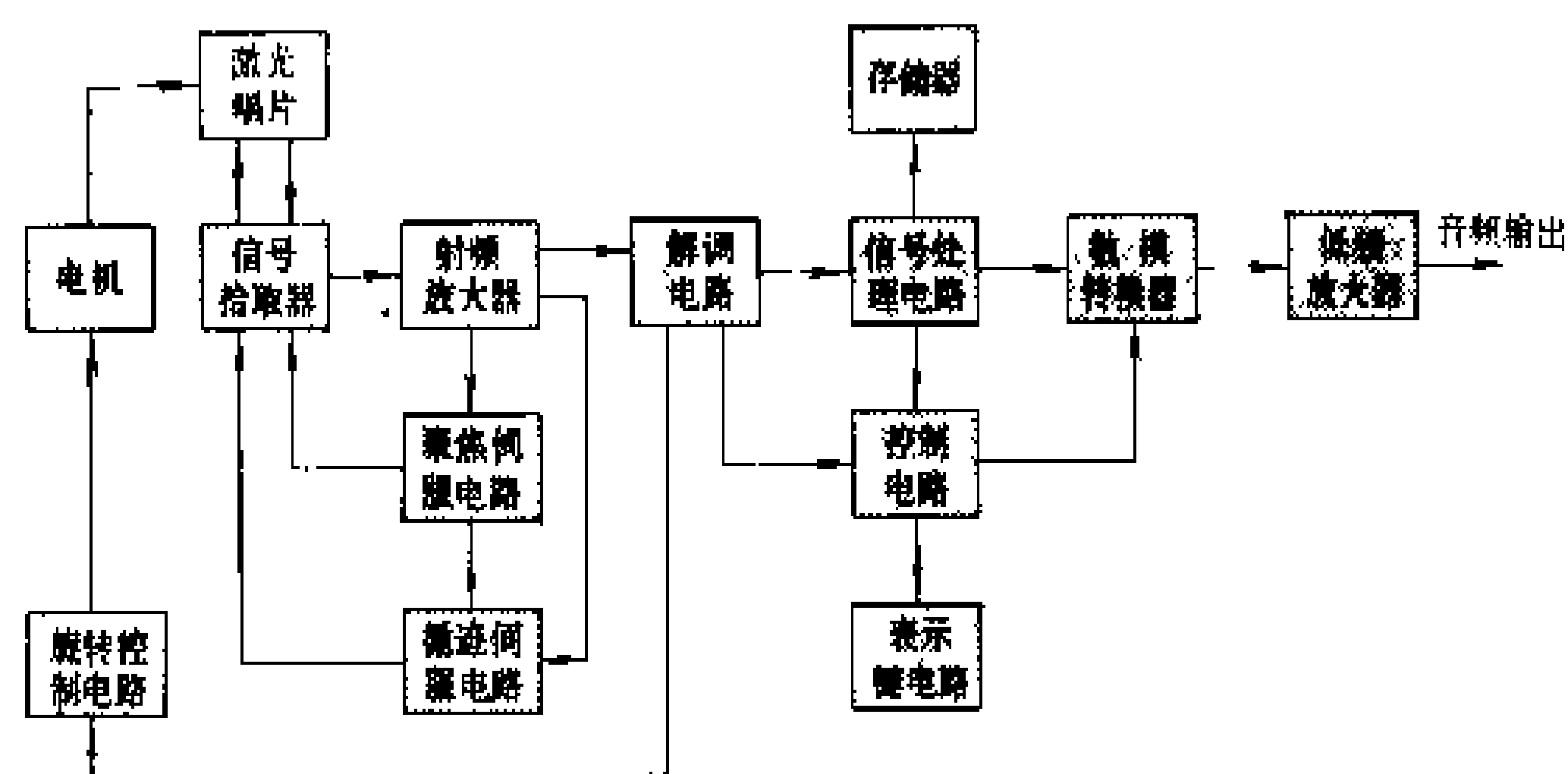
jiguang changji
激光唱机 (compact player)

重放记录在激光唱片上的图像和伴音的设备，又称激光式数字音频唱机、CD 唱机。激光唱片是采用激光刻录、激光拾取音频信号的一种数字唱片，又称激光式数字音频唱片、CD 唱片。

激光唱机由信号拾取器、射频(RF)放大器、解调电路、信号处理电路、数模转换器和低频放大电路等部分组成(见图)。

信号拾取器是由半导体激光器(拾音头)、光学系统、检波器等组成。半导体激光器发出的激光束经瞄准镜头成平行光线，再经过棱镜、1/4 波长板到达唱片，反射回来后集中在检波器上。检波器使用发光二极管，经过检波器所得的信号有主信号，即射频(RF)信号，还有使光束聚集正确的聚焦信号和使循迹正确的循迹信号。射频信号经射频放大器后，一部分输入聚焦、循

束经定向和聚焦后照射到焊件接缝上。激光束的光能转变成热能使焊件接缝处金属(必要时可加填充金属)熔化,熔融金属冷凝后成为焊缝,把焊件连接在一起。



用于焊接的激光器通常分为固体激光器和气体激光器两类。固体激光器有红宝石激光器、钕玻璃激光器以及掺钕钇铝石榴石激光器。主要的气体激光器是二氧化碳气体激光器。红宝石和钕玻璃激光器,输出的激光是脉冲式的,瞬时功率较高,但重复工作频率较低。掺钕钇铝石榴石激光器和二氧化碳气体激光器输出的激光是连续的,或为频率极高的脉冲。

特点和用途 激光焊的优点是：①激光束可以会聚在很小的面积上，适宜于焊接精密的微型焊件；②功率密度高（大于 10^4 W/cm^2 ），焊件热影响小焊件变形小，可对靠近热敏性零件施焊；③激光束可用反射镜等方便地改变方向，可用于对其他焊接方法无法到达的部位施焊；④可在大气中施焊，也可通过透镜对处于保护气体或真空中的焊件施焊；⑤易于控制，工艺再现性好，容易实现焊接自动化；⑥与电子束焊比，焊接中不产生 X 射线，光束不受磁场的影响。激光焊的缺点是设备投资大，一般只适用于其他方法不能焊接或大批量生产的场合，并且对焊件的焊前准备和装配要求较严。

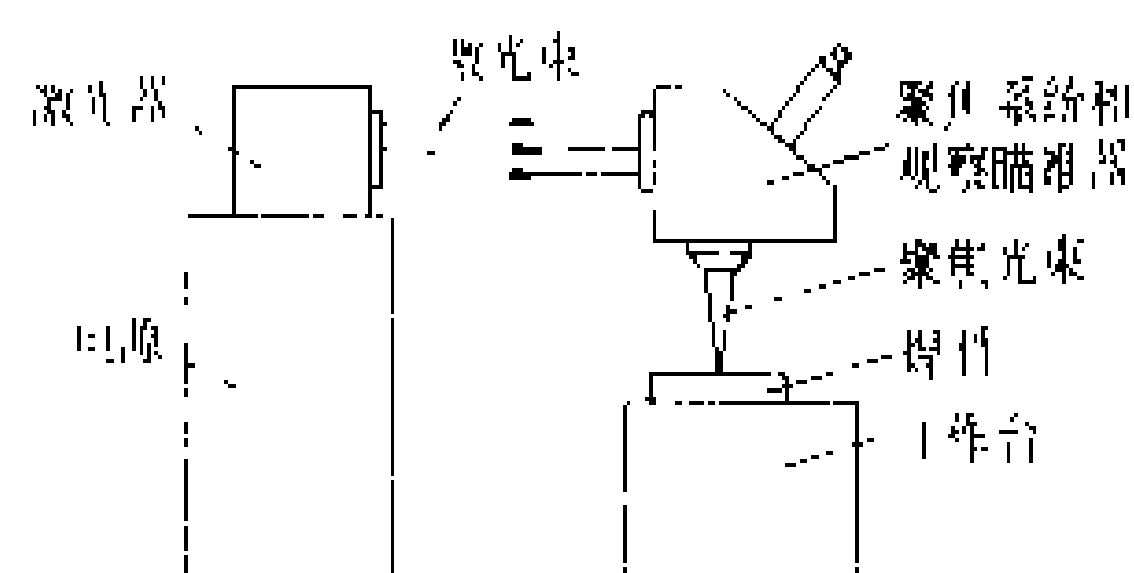
激光焊可用于焊接碳钢、低合金钢、不锈钢、高温合金、铝、镁、钛、镍等有色金属和合金；还可用于焊接某些异种金属，如钨与镍，不锈钢与钼等；对石英、陶瓷、玻璃、塑料等非金属材料的焊接也提供了可能性。

分类 激光焊分脉冲激光焊和连续波激光焊两类。

脉冲激光焊 通常用固体激光器。脉冲输出能量为10~100J, 脉冲持续时间不超过10 ms。主要用于0.5 mm以下金属板材或直径0.6 mm以下金属丝材的焊接。由于焊点小(几十微米至几百微米)、精度高, 特别适用于焊接微型、精密、排列密集、对热敏感的焊件, 如用于微电子元件的内外引线、微波零件、密封锂电池、陀螺轴承组合件、热电偶和钟表零件等。

连续波激光焊 通常用二氧化碳激光器。输出功率为 $1\sim 20\text{kW}$ 。主要用于较厚焊件的焊接。几千瓦级二氧化碳气体激光束可快速焊接薄钢板。 $10\sim 20\text{kW}$ 级二氧化碳气体激光束可对 $5\sim 10\text{mm}$ 不锈钢板进行深熔焊, 焊缝深宽比可达 $5\sim 6$ 。典型的焊件有铅蓄电池, 由碳钢与不锈钢、镍合金、钛或钼组合成的加衬容

激光焊 (laser beam welding) 利用经过聚焦的激光照射到焊件上所产生的热进行焊接的方法(见激光加热, 电焊)。如图所示, 由激光器产生的激光



• 274 •

器和导管,以及减速器齿轮等。

历史和发展 激光效应是1959年公布于世的。60年代中激光就开始用于焊接。早期是小功率脉冲激光焊,主要用于细丝的焊接。这种焊接方法很快在电子、精密仪器和钟表等工业部门得到推广。60年代末70年代初可用于3 mm以上不锈钢焊接的连续波激光焊取得成功。激光焊的应用随即扩大到了航空、航天、汽车制造等工业部门。随着连续激光器功率的加大,激光焊有向厚壁管焊接和向造船、核能装置制造、农机制造等工业部门发展的趋势。

(嵇菊生)

jiguang jiaore

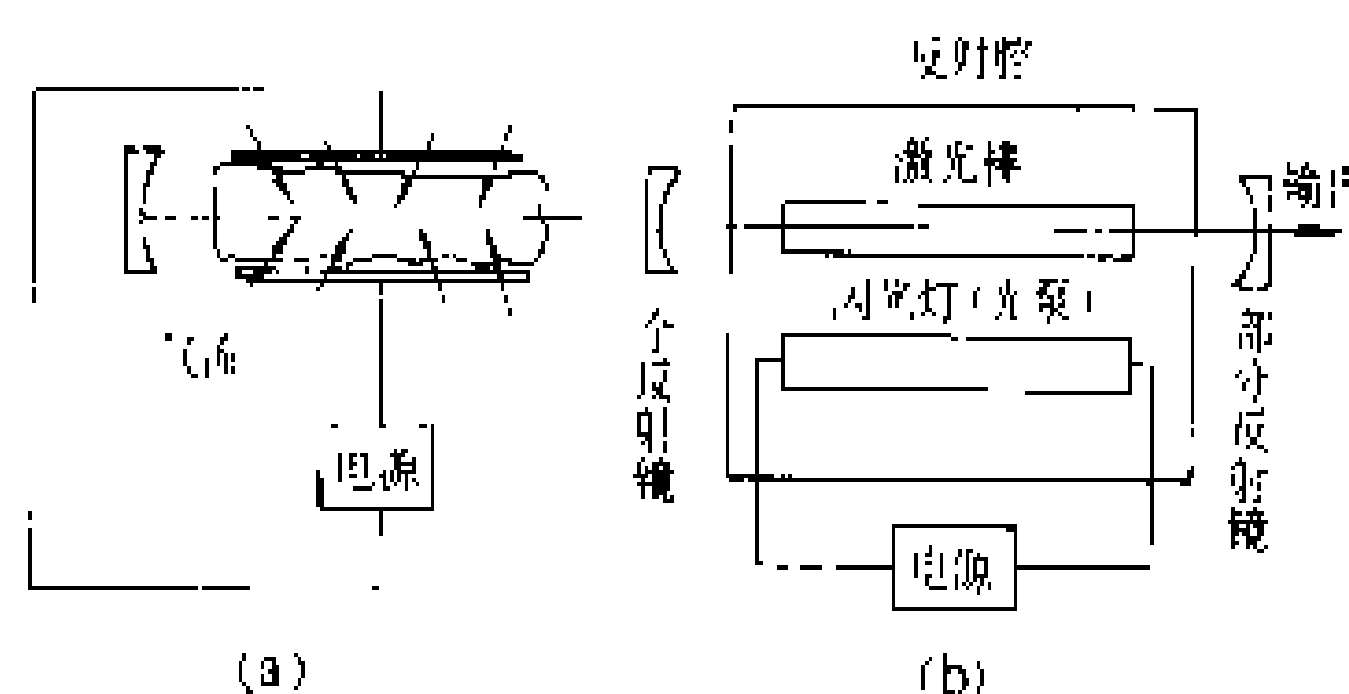
激光加热 (laser heating) 利用激光能量对物料进行加热的方法。激光英文原名laser是light of amplification by stimulated emission of radiation的缩写,意思是“光的受激辐射放大”,中文也译为“镭射”、“莱塞”等。物质中的原子、离子和分子等粒子都处于一系列不同的、非连续的能量状态,叫能级。通常,粒子处于能量最低的能级。当粒子受到外部能量(光能、电能、热能等)的激励时,可以吸收一定量的能量而跃迁到较高能级,这个过程叫受激吸收。粒子总是力图使自己处于能量最低的稳定状态。处于高能级的粒子会自发跃迁回最低能级,同时放出一定量的能量。粒子所处能级的变化必然伴随着粒子与外界(其他粒子、外界光场、电场等)发生作用并交换能量。就粒子与外界光场的关系而言,当粒子自发地从高能级跃迁回低能级时,在一定条件下会以光子的形式释放多余的能量,光子的能量就等于两能级间的能量差。这种没有外界作用的光发射叫自发辐射。普通光源,如白炽灯、荧光灯都是靠这种自发辐射发光的。由于各个粒子都各自独立而无规则地进行自发辐射,所产生的光在方向、频率、相位和偏振态上都不相同。与自发辐射相反,当粒子受到其能量等于粒子高低能级能量差的外来光子的激励时,外来光子并不消失,而粒子会在从高能级跃迁回低能级时,产生另一个与入射光子在方向、频率、相位和偏振态上都相同的光子,这样的光发射叫受激辐射。

激光是由激光器(见图)产生的,激光器中有一种激光工作物质。其特殊性能是:当它在一定条件下受到外界能量的激励时,它的大多数粒子会从某一个低能级 E_1 跃迁到相邻的较高能级 E_2 。激光器的一端有一块全反射镜,另一端有一块部分反射镜,两者与激光工作物质构成一个谐振腔,处于 E_2 能级的一些粒子会因自发辐射跃迁回 E_1 能级,同时放出能量等于 E_2-E_1 的光子。这些光子入射到其他粒子上又可因受激辐射

引发出其他的光子。这些光子中,凡其方向不与激光器轴线垂直的,很快都逸出激光器;与激光器轴线平行的光子,则由子两端反射镜的反射而在激光工作物质内部来回运动,并在入射到处于 E_2 能级的粒子时又会产生新的同样的(包括方向相同的)光子。愈来愈多的粒子从能态 E_2 跃迁回 E_1 ,所产生的同样的光子也愈来愈多(这个过程叫光放大),光束不断增强,最后有一部分从部分反射镜一端输出,这就是激光。

激光的特点有:①单色性好(可比以往单色性最好的氪灯高1万倍);②相干性好(即方向、频率、振幅、偏振态、相位的相同程度高);③发散角小(可小到0.1 mrad);④强度(亮度)高(可比太阳表面亮度高200亿倍)。因此,激光在许多技术领域中得到应用,如激光测量、激光通信、激光瞄准、激光照排、激光信息存储、激光全息摄影等。激光加热主要利用其后两个特点。

设备 激光电热设备通常由激光发生器(包括电源和真空系统)、导光和聚焦系统、机械运动系统、计算机数控系统和必要的配套系统(如供气系统、观察系统、测量系统等)组成。用于激光加热的激光器主要有二氧化碳气体激光器和固体激光器(见图),后者由于功率大、效率高,用得最普遍。几种常用激光器的性能示于表。



激光加热常用激光器示意图

(a) 二氧化碳气体激光器; (b) 固体激光器

特点 激光加热的优点是:①功率密度高,可达 $10^3 \sim 10^{11} \text{ W/cm}^2$,几乎可加热所有材料(包括各种高熔点和硬度材料);②加热速度快、效率高,加热局限在很小范围、热影响小,工件变形小;③根据需要可在大气、真空和各种气氛中加热,或透过透明材料加热;④可方便地把激光从一个工位向另一个工位输送,可将单束光分成几束功率较小的光使用;⑤光束调制方便,易于实现计算机数字控制和自动化操作,实现精密加工;⑥用于加工,无工具磨损、无机械接触。它的缺点是:①设备昂贵,电-光能量转换效率低(一般只约1%,大功率二氧化碳气体激光器只到10%~15%);②激光会伤害人的眼睛、皮肤,大功率激光会损坏仪器设备,甚至引起火灾,须加防范。

应用 激光加热的主要应用有:激光焊接,激光热



激光加热常用激光器性能

激光器类型		激光波长 (μm)	工作方式	功率输出 (W)	脉冲重复速率 (ys)	脉冲宽度 (m)
二氧化碳气体激光器 (CO_2)		10.6	连续或 重复脉冲	$50\sim 10^4$ (平均) 10^7 (峰值)	≤ 100	$0.1\sim 0.01$
固 体 激 光 器	钕铝石榴石激光器 (Nd:YAG)	1.06	连续或 重复脉冲	$10\sim 10^3$ (平均) 10^4 (峰值)	200~ 25000 以上	2×10^{-4} ~10
	钕玻璃激光器 (Nd:Glass)	1.06	普通脉冲	10^6 (峰值)	单脉冲	0.5~10
	红宝石激光器 (Ruty)	0.6943	普通脉冲	10^5 (峰值)	单脉冲	0.2~5

处理,激光钻孔、切割和刻蚀以及激光治疗等。

激光焊接 见激光焊。

激光热处理 功率密度为 $10^3\sim 10^4\text{ W/cm}^2$ 、束径约 2 mm 的激光在金属表面以一定速度(一般高于 2 mm/s)扫描时,由金属的快速加热和随后的快速自行冷却可在表面上获得厚 0.3 mm 的淬硬层带。提高功率密度并降低扫描速度,可使金属表面熔化,自行冷却凝固后,可获得极细的硬化层组织,显著改善表面的耐磨性。如在金属表面涂敷硬质合金粉末,则可实现表面合金化。激光表面热处理已成功地用于汽油、柴油发动机的气缸和液压缸等。通常用二氧化碳气体连续激光器进行激光热处理。

激光钻孔、切割和刻蚀 利用功率密度为 $10^8\sim 10^9\text{ W/cm}^2$ 的激光照射工作表面,可使材料迅速气化,实现对工件的钻孔、切割和刻蚀。

激光钻孔主要用于钻直径小于 1 mm 的孔(最小可到 1 μm),已用于金钢石拉丝模、钟表宝石轴承、化学纤维硬质合金喷丝板、火箭发动机和柴油机的燃烧喷嘴、涡轮叶片等。可用连续和脉冲激光器,以后者较好。

激光切割可用于任何材料,与其他热切削(气割、电弧切割、等离子切割)比,优点是切口窄(0.1~0.5 mm)、尺寸精确、切口光洁,早期主要用于 12 mm 以下不锈钢板和钛合金的切割、难熔金属和贵重金属的精密切割、半导体材料(如硅片)的划片等,现在,在机械、造船、轻工等工业部门也得到应用。如在造船和汽车制造业中用来切割壳体钢板,在木材加工业中用来切割胶合板,在服装行业中用来大量裁剪衣料等。一般用 $10^3\sim 10^4\text{ W}$ 级二氧化碳连续激光器。工作时通常沿激光束向切割点喷射气体,以提高切割效率,改善切口质量。

激光刻蚀用于在工件上划线、刻标记、去除多余的材料等。后者用于诸如电阻器、电容器等电子元件电参数的微调,乐器簧片调谐、旋转体(涡轮机叶轮、陀螺

仪、微电机和钟摆等)的动平衡校正等。用激光制造大规模集成电路,不用抗蚀剂,工序简单,能刻蚀 0.5 μm 以下的高精度图案,可大大提高集成度。

激光治疗 激光在医疗中用于切除、修补或烧除病变组织,如切除肿瘤、面部血管瘤,修复脱落的视网膜等。用激光进行手术的优点是:①手术精确

度高、操作方便、时间短;②出血少;③能使病变组织细胞(如癌细胞)顷刻凝固、坏死,甚至炭化、气化,并能迅速封闭病变组织内及其边缘的血管和淋巴管,从而可防止病变转移;④可借助光导纤维在体内进行手术;⑤无器械接触,可减少医源性感染;⑥对正常组织损伤轻微,对病人的全身功能和免疫功能影响很少等。所用激光器除二氧化碳气体激光器和掺钕钕铝石榴石激光器外,氩激光器(波长 0.488、0.515 μm)用于眼底凝固设备已得到普及。

历史和发展 早在 1917 年 A. 爱因斯坦(Albert Einstein)在研究黑体辐射定律时就提出受激辐射的假设。1960 年美国的 T.H. 梅曼(Theodore Harold Maiman)制成第一台红宝石激光器,同年美国 A. 贾万(A. Javan)制成了波长为 1.15 μm 的氦氖激光器。1961 年首次把红宝石激光器用于钻孔。1964 年范尤特制成钕铝石榴石激光器,C. K. N. 佩特(C. K. N. Patel)制成二氧化碳气体激光器。同年,激光焊得到实际应用。二氧化碳气体激光器的输出功率,1966 年达 1000 W,1968 年达 60 kW。从此激光加热的应用迅速扩大。还有一些机理不同的激光器,如 1976 年发明的自由电子激光器,但没有在激光加热中得到应用。中国从 70 年代开始利用激光加热。1991 年研制成功万瓦级二氧化碳气体激光器。

激光的特性和应用是现代物理学和高技术研究活跃的前沿。激光加热技术的应用方兴未艾,预期将在工业、农业、医疗等部门中得到更大发展和推广。

(蒋聪吉)

plhua yongdian

计划用电 (planned use of electricity)

用电负荷管理的一种特殊方式。它是中国在严重缺电的时期,利用计划经济的体制对电力的生产、分配和使用进行综合平衡后,纳入国民经济总体计划,对用电进行行政干预的方法。该方法于 1970 年提出并实施。计



划用电除具有以上特定的含义外,还有用户对用电方式进行有目的的安排这一更为广泛的含义。如在市场经济的体制下,用户从供电企业用电负荷管理的各种经济办法中,自觉选择以最低电费支出满足其用电效果的用电方式等。

电力与国民经济的关系极为密切,两者发展处于动态平衡中,世界上多数国家都曾发生过一定时期的电力供应不足。在电力供应不足时,普遍的做法是在实行有限制的行政干预的同时,对电力建设采取经济倾斜政策,以加速电力工业发展,逐步缓解电力供需矛盾。中国缺电时间较长,缺电程度较深,经过多年实践形成的做法是逐步强化电力配额供给,用户实行计划用电,建立了分级管理的组织机构,制订了考核监督办法。

随着中国经济体制改革的深化,市场经济的发展,原有计划用电管理办法越来越不适应社会主义市场经济的发展,但是由于电力供需矛盾尚未基本缓解,为了保持国民经济的协调发展,必要的行政干预仍属必要,因此,对计划用电的具体管理办法正在逐步做出局部调整。只有在改变电力不适应国民经济发展的状态、供需矛盾得到缓解、用电负荷管理的经济办法广泛采用与其适应的技术手段完善后,这种行政干预的做法才能终止。

沿革 中华人民共和国成立初期,建立了用电监察制度,在用电户中开展用电负荷调整、节约用电和安全用电工作,在缺电较多的地区,也曾间断地对一些大电力用户试行电力分配。从1964年开始,对煤炭、石油、冶金、化工等13个国家部委在东北、北京、华东三大电网的直属厂矿企业实行国家电力分配;对武汉、太原、郑州、重庆、兰州、西安等10个工业比较集中的地区电网,实行省级电力分配。60年代后期,各省的主电网逐步形成,联网的范围日益扩大,缺电范围几乎波及全国,缺电程度日益加深,仅靠调整负荷、节约用电和局部性电力分配已无法避免被迫的经常性的大面积停电,给国民经济造成损失,为此从1970年开始,中国提出并实行计划用电。

在中国,计划用电工作经历了凭证供电、包干用电和国家直接分配电力的过程。

凭证供电是以制止用电浪费来解决电力供需矛盾的办法。具体做法是对用电企业进行一查四定,即查清企业电力使用的现状和存在的问题,按照合理用电的原则核定企业的用电量、用电负荷、用电时间和单位产品(产值)耗电,据此发给企业“用电证”,供电部门凭证供电,用户凭证用电。由于大部分主要电网缺电较多,出现了对企业一查四定后仍无足够电力可供分配的状况,迫使计划用电工作逐渐转向包干用电阶段。实行包

干用电是力求以有限的电力资源,最佳的电力分配方案,取得最大的社会效益。基本做法是:电力部门按国家下达的发电计划发电,电网据此在网内各省、市、地区之间将电力、电量切块分配,各省、市、地的计划经济委员会在同级电力部门配合下,按用电重要程度,轻重缓急,有保有舍,组织平衡,包干使用;各电网内的省、地、市以及各用电单位按上级分配的电力、电量指标用电,不得超用,违者惩罚。由于上述办法在地方电力平衡中,考虑地方经济协调发展较多,对一些涉及在计划经济体制下全国统一调拨的重要物资生产企业用电兼顾不够,因此计划用电工作于1984年又把部分电力的分配权上收给国家,对国家指定的重点企业的用电指标,由国家直接下达,实行“以产定电”,地方不得克扣;余下电力由国家下达给各省包干用电总额,继续由地方组织平衡分配,包干使用。各省在包干用电指标内,也可对涉及全省经济的重点企业直接下达用电指标,地、市不得克扣。

组织机构 中国实行计划用电分级管理。国家一级由国务院电力主管部门管理;跨省电网一般由国务院电力主管部门派出在电网设立的计划用电办公室管理,遇有重大问题或无派出机构的由跨省电网领导小组负责协调;省及其以下各级由三电办公室管理,三电办公室全面管理本级计划用电的指标分配、调整、考核,机构设在本级电力部门内,工作人员由电力部门配备,接受上级计划用电管理部门和地方政府的双重领导,执行地方政府计划用电管理职能。三电办公室除负责计划用电工作外,还负责节约用电的组织领导工作。有些较大的城市,供电范围大,用电户数多,为了便于管理,按供电馈路或供电变电所分别成立由主要用户指派人员组成的线路用电管理委员会或变电所用电管理委员会,受三电办公室委托,执行计划用电监督、检查。

指标考核与监督 中国执行计划用电指标考核监督的基本原则是不超不限,谁超限谁,超用扣还。监控手段一般采用行政、经济、技术、法律等手段,其中包括用电指标执行中的检查,经济奖惩,安装各种型式的电力负荷控制装置和签订计划供用电合同等。

(顾嘉棠)

jisuanji X shexian duanceng zhenduanyi

计算机X射线断层诊断仪 (Computerized Tomography, CT)

以X射线探查为基础,借助计算机生成数字化图像的电子诊断装置,简称CT。

这种诊断装置是将不同角度对病人进行X线探查所获得的大量数据输入计算机,由计算机通过运算产生数字化的图像。它可生成人体某一断面的高分辨

率图像,因此在神经系统及其他器官的疾病诊断上得到了广泛的应用,特别是对软组织疾患的检查开创了无创伤检查的新纪元。

一个CT系统大致可分为以下几部分:X线发生部分,X线检测部分,图像处理显示部分和操作检测部分。

CT的基本工作原理是对人体某一部位用能量稳定的X线从不同角度扫描,获得该部位各单位体积上的X线吸收量,通过计算机运算处理,即可生成图像,经记录后用于诊断。

第一代CT的X线源检测系统包括一个产生窄束笔形X线的球管和INa晶体检测器,扫描方式为旋转1°按平行移动扫描。这种CT装置对每一层面的扫描时间达3~6 min,所以只适用人体易固定部位如头部等。由它产生的图像为80×80点阵,也很不清晰。以后人们对CT装置不断加以改进,图像清晰度不断提高。为了缩短扫描时间X线源改为扇形束,增加了检测器,减少了直线扫描。第二代产品扇形束X线的扇面角度为3°~30°,检测器3~60只,仍为旋转结合直线扫描,扫描时间为10~90 s,对检查颅脑已完全适用,但对胸部和腹部检查因呼吸和肠蠕动而效果不佳。第三代产品X束扇面为30°~45°,检测器300只,只作旋转扫描,扫描时间缩短为2.4~10 s,因之可做全身检查。第四代产品的主要目的是为了提高图像质量,固定检测器达420~700只,仅X线球束管旋转扫描,时间进一步缩短为1~5 s。

CT扫描生成的数字化图像是以CT值表示的,它代表了人体各组织器官的X线吸收程度,以EMI单位或Hounsfield(H)单位表示。以水为0(H),骨骼+1000(H),空气-1000(H)等。根据各部位的CT值,计算机可计算生成对应不同解剖结构的图像。

CT自安布罗斯和亨斯费德两人于1972年首先报告之后,在装置设计制造及临床应用等方面均获得迅速的发展。中国自1979年起开始了CT的应用和研制。随着CT技术的发展,将会有愈来愈多的CT诊断方法应用于临床,如人体器官或病变的定量分析,三维图像的重建等。

(周 奕)

jiayong diandong tengrenji

家用电动缝纫机 (household electric sewing machine) 一种以电为动力的家用机械式缝纫机。按其功能可分为普通(直线)机、多能机(含半多能、全多能、半自动多能、全自动多能机)。前者做直线线迹,用途单一,价格便宜;后者可做曲线线迹和花迹,价格较贵。按机架结构形式可分为手提式和框架式。家用

电动缝纫机一般为手提式,它的机头安装在台板上。台板有板式和悬臂式两种,后者更适于缝制袖管、裤管等。使用电动缝纫机时,只要打开机箱,把缝纫机放在桌上,脚踏开关放在地上即可。它省去了笨重占地的铸铁机架,可以做得非常轻巧,最轻的只有几千克。

电动缝纫机机壳内有一只微型电动机,接通电源,踩动脚踏开关,即可控制缝纫机的工作。它起动快,缝速高,缝纫效率高。这种缝纫机的机头部分具有制布、送布、勾线和挑线功能。机针除可做垂直上、下运动外(缝出的线迹是直线排列的),还可做左右横向摆动(缝出的线迹成为锯齿状),如改变针杆的左右摆动量和送布牙的前后送进量,就会产生不同的锯齿形状,利用锯齿线迹可缝出十分规则、美观、别有风味的花纹图案。

电动多能缝纫机的机腔内部有成套的花模凸轮。利用它们可以控制机针的横向侧摆量和送布牙的纵向进给量,几个花模凸轮的不同组合方式,可得到不同的缝纫花纹。一般机械式花模凸轮都能提供200种左右的花纹线迹,组成25种以下的缝纫图案。花纹的改变十分方便,操作者只要按压缝纫机正面饰框中的适当按钮(或旋动花纹变换旋钮,或推动花纹变换推杆),便可立即变换花纹。

为了扩大功能,缝纫机还可同时用两根针缝纫,两针上穿有不同颜色的面线,使图案色彩更加绚丽。此外,还可在电动基础上加自动控制装置,如定位停针装置、点缝装置、电源变化及自动适应装置、自锁装置等。

缝纫机经过一段时间使用后应进行保养,主要有:
①调节传动带张紧力。使用一段时间后发现转速变慢,应检查带的松紧。检查时在带中部用手指轻按,受力点下垂5 mm为松紧合适。用两根传动带时,转速快的一根带子安装可适当松些。
②电机轴承处定期加油。经常使用的机器每季度在电机端盖上小油孔内加缝纫机油1~2滴。
③传动带的更换。三角带靠两侧面摩擦传递功率,使用久后因带侧磨损,造成打滑,应换新带。
④电刷是一种易损件,使用时忌油,在使用一定时间后应检查磨损情况,当电刷长度磨去2/3后(约剩5 mm),就不宜使用,应及时更换。
⑤保持清洁。电机及调速器应保持清洁,缝纫时出现的绒丝等可能侵入电器,影响正常使用,应定期清除堆积的尘埃,窗孔内用软刷剔除。不用时应将箱盖关上,并存放在干燥无化学腐蚀的环境中。

(施 非)

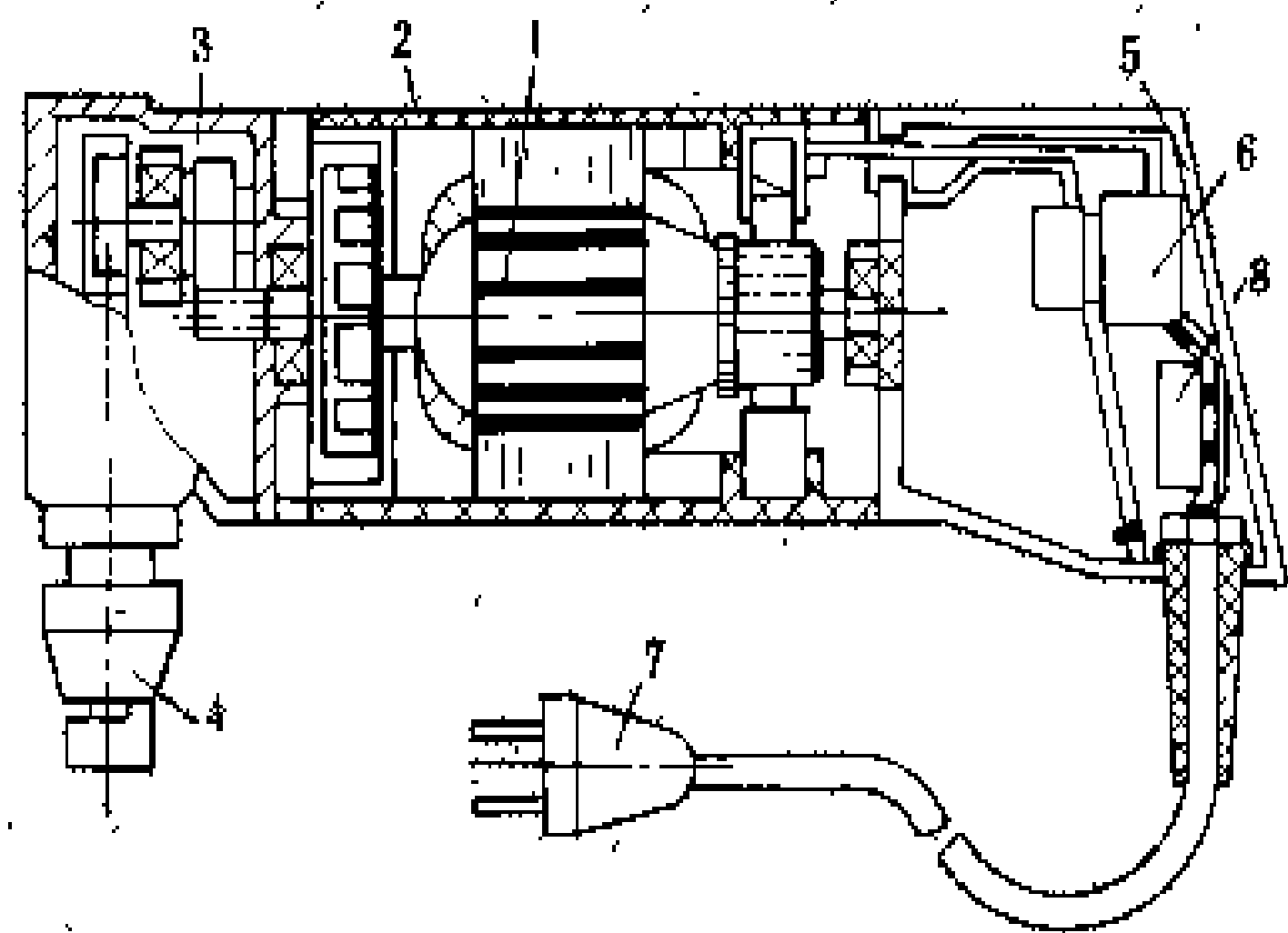
jiayong diandong gongju

家用电动工具 (household electric drive tool) 可供家庭条件下使用的,以电动机或电磁铁为动力,通过传动机构驱动工作头的机械化工具。电



动工具结构轻巧、效率高、携带使用方便,已被广泛应用于各个领域。家用电动工具主要用于房屋修缮,室内装修,设备、汽车的修理,家具制作和修理,以及园艺整修等。

组成 电动工具主要由电动机、外壳和手柄、传动机构、开关、无线电干扰抑制器或元件及电源连接装置件等组成,见图。



电动工具的基本结构

1—单相串励电动机;2—外壳;3—传动机构;4—工作头;
5—手柄;6—电源开关;7—电源线插头;8—干扰抑制器

外壳和手柄 一般用增强尼龙、聚碳酸酯等性能优良的工程塑料制成。外壳具有支承和保护内部结构的作用,又是电动机定子铁芯的附加绝缘。手柄形式有手枪式和托柄式两种,但也有的无专设手柄,直接握持外壳操作;有的工具除有一般手柄外,在前端还设置辅助手柄。

电动机 主要选用单相串励式、单相异步电容式电动机和永磁直流电动机。单相串励电动机转轴上如果设有绝缘层,则称为转轴绝缘,用作转子铁芯附加绝缘,以使转子铁芯与转轴等外露金属零件在电气上隔开。转轴上装有冷却风扇,风扇大多采用离心式。进风口和出风口置于外壳上。

传动机构 用来传递能量、变速和改变运动方式。为适应不同的作业加工,运动方式有旋转、往复、冲击和冲击与旋转兼有的复合运动。传动齿轮采用 0.6~0.8 mm 的小模数高度或角度修正的斜齿圆柱齿轮、螺旋锥齿轮等。

开关 有电源开关和控制开关,一般均装置在手柄上。电源开关的结构大多采用两极桥式双断触头,由瞬时动作机构使触头快速通断,而与使用者推动掀手的速度无关。手掀式开关能自动复位和切断电源,有的还带自锁机构。控制开关主要是无极调速开关。

无线电干扰抑制器 用于抑制对无线电和电视干扰的组件或元件。置于手柄内。有基本抑制器和附加抑制器二种。

电源连接装置件 包括电源插头,软电缆或软线

及电缆护袋。**I 类工具**采用电源插头与软电缆或软线压制成一体的不可拆卸电源插头;**I 类工具**采用三芯软电缆或软线,其中一芯绿质双色线为接地线,与三极电源插头接地极连接;**I 类**、**II 类工具**采用二芯软电缆或软线,无接地线。软电缆或软线引入工具的入口处,有夹紧措施,并设置柔性护袋,以保护电缆和软线不被拉脱和受折。

分类 家用电动工具按用途分为钻孔类工具、锯割类工具、砂磨类工具、园艺类工具及其他类工具等。如电钻、冲击电钻、电锤、电动角向磨光机、电动平板摆动式砂光机、电圆锯、电刨、电动刃磨砂轮机、电喷枪、电动修枝机等。

为了保证家用电动工具的使用安全,根据不同的使用要求,对于不同的家用电动工具分别采取不同的防触电保护方式,具体分为 **I 类工具**、**I 类工具**、**II 类工具**。

I 类工具 额定电压超过 50 V,而绝缘结构中多数部位只有基本绝缘,如果一旦绝缘损坏,则操作者即有触电危险。因此这类工具对于操作时人手可触及的金属零部件必须可靠地进行保护接地。

I 类工具 即双重绝缘工具。额定电压超过 50 V,它的绝缘结构采用双重绝缘或加强绝缘,或两者综合的绝缘形式。所谓双重绝缘,即除基本绝缘外还有一层独立的附加绝缘,这样即使基本绝缘损坏仍可保证操作者与带电体隔离,不致触电。而加强绝缘则是对基本绝缘性能进行加强和改善,使其具有与双重绝缘相当的介质强度和机械强度,从而有同等的安全保护效能。

II 类工具 即特低安全电压工具。额定电压不超过 50 V。其触电保护依靠安全特低电压供电以及在工具内不会产生比特低电压高的电压。特低安全电压通过安全隔离变压器与供电电网相隔离或由电池组来取得。

由于 **I 类**、**II 类工具**都能可靠地保证使用时的电气安全,所以规定不必要再采用保护接地。

(李邦协)

jiayong dianlu

家用电炉 (household electric stove) 一种利用电热烹饪食物的厨房器具。因其热效率较低,已很少作为专门的炊具使用,主要在医疗卫生、科学试验等部门,作为加热、消毒工具使用。家用电炉按其结构可分为三种型式,即温度、功率均不可调的普通型;可调节温度的调温型;可调节功率的调功型。

敞开式电炉由支承架、炉盘、电热元件组成。支承架大多用铸铁浇注成形,分为上托盘和下托盘,两者之



间垫一块石棉耐热隔板,减少热量从盘面向下托盘支架传递,提高电热炉效率。炉盘放在上托盘上面,它由耐高温和良好绝缘性能的陶瓷材料制成,其直径随电炉功率大小而增减。盘面沿外圆到中心烧制成凹形环槽,电热元件即嵌固在槽内。电热元件大多用镍铬或铁铬铝合金材料制成的螺旋式电热丝,以交流 220 V 供电时,温度可达 800~850℃,热效率仅为 50%左右。

半敞开式电炉与敞开式电炉的主要区别在于:敞开式电炉的电热元件外露可见,处于外界空气之中;而半敞开式电炉的电热元件,则埋藏在金属制成的壳体内,电热元件不外露,不能直接与外界空气接触。壳体内表面与电热元件之间,采用传热和绝缘性能良好的氧化镁粘土等陶瓷混合材料烧制成的绝缘导热隔板隔开,以避免出现短路,发生明火事故,炉盘温度可达 120~350℃,热效率在 70%以上。

全封闭式电炉的结构特点,就是将电炉的电热元件藏在绝缘导热材料中或弯曲成环形后铸于金属发热板内,再将整个炉体用金属薄板制成的外壳封闭起来。这种封闭式电炉,大多装有超温保安器,控制发热板温度不超过 400℃。与前两种电炉相比,封闭式电炉具有耐震动、强度高、寿命长和安全可靠等优点。比较高档的电炉,还设有温度控制器和功率变换开关,成为既可调温又能改变功率的调温调功多用途电炉。

上述三种电炉的性能指标见表。

电炉的性能指标

型 式	电 热 元 件				热效率 (%)	寿命 (h)
	总长数 (m)	线径 (mm)	螺旋外径 (mm)	冷态电阻 (Ω)		
敞 开 式	10.70	0.65	5.3	45.20	≤56	1000
半敞开式	8.28	0.50	2.5	47.10	≤70	2000
封 闭 式	5.20	0.40	3.0	45.12	≤75	2000

(张应端)

jiayong dianqi

家用电器 (household electrical appliance)

在家庭及类似场所使用的各种用电器具。家用电器是现代科学技术发展的产物,它使人们从繁重的家务劳动中解放出来,为人们创造了方便、舒适的生活和工作环境,在饮食、烹饪、衣着、美容、卫生、保健、文化、娱乐等方面,深刻地改变了人们的生活面貌,它已成为现代家庭生活所必需的设备。

简史 家用电器发源于美国,已有近百年的历史。1879 年美国 T. A. 爱迪生 (Thomas Alva Edison) 发明了白炽灯,开创了人类电气照明的时代。进入 20 世纪以后,电熨斗在美国首先投入市场,受到广泛的欢

迎。1907 年,具有现代产品锥型的吸尘器问世。1910 年,电动洗衣机和压缩式电冰箱相继问世。1914 年电灶出现。1919 年,超外差收音机问世。同年,第一个定时播发语言和音乐的无线电广播电台在英国建成。1923~1924 年,美国 V. K. 兹沃雷金 (Vladimir Kosma Zworykin) 相继发明了摄像管和显像管;1931 年,他组装成世界上第一个全电子电视系统。第二次世界大战后,电视广播便在各 国逐渐普及。1930 年出现了空气调节器。1939 年,全自动洗衣机研制成功。50 年代随着电子工业的发展,彩色电视机开始进入家庭。1969 年研制成功微波炉。70 年代微型计算机的问世,推动着家用电器向自动化和智能化方向发展,一批高技术家用电器相继出现。

中国在 1949 年以前基本没有形成家用电器工业,仅有少数修造厂从事修理、装配业务,中国第一家家用电器制造厂、也是中国第一家电风扇生产厂上海华生电器制造厂创建于 1916 年,20 年代初开始生产电风扇,但产量很少。1956 年天津医疗器械厂试制出第一台封闭式压缩机电冰箱。1958 年开始黑白电视广播。1960 年、1964 年、1965 年,上海相继试制出第一台吸尘器、涡卷式双桶洗衣机和窗式空调器。70 年代初开始彩色电视广播。1978 年以后特别是 80 年代,中国家用电器工业得到很大发展,已基本形成工业体系。

基本要求 对家用电器的基本要求主要有安全可靠、实用新颖和节约能源。

(1)安全可靠:国际电工委员会 (IEC) 制订了家用电器的安全标准,不少国家已颁布了家用电器安全法规,要求市场销售的家用电器产品必须具有安全鉴定合格标记。以保证家用电器在发生机械或电气故障时不致造成伤害人身和火灾等事故。可靠性是反映家用电器产品质量的综合性能指标,在保证产品质量稳定性的前提下,使产品达到安全可靠的要求。

(2)实用新颖:家用电器产品应具有结构合理、操作方便的优点,做到使用者不需具备专门技术,就能正确掌握使用方法。家用电器还要兼顾美化家庭的作用,使产品的造型和外观不仅具有鲜明的时代感,而且要体现出结构的科学性。

(3)节约能源:降低家用电器的能耗,提高家用电器的效率指标是世界家用电器生产的长期努力方向。

范围和分类 家用电器的范围,各国不尽相同。家用电器的生产已形成庞大的规模,但对家用电器的分类,世界上尚未形成统一的分类方法。常见的为按产品



的工作原理和按产品的功能与用途两种分类方法。美国把家用电器分为大件器具、小件器具、空气调节器具、家用电子器具等。日本把家用电器分为家用电气器具和家用电子器具。中国按产品功能与用途来分类。

按产品的工作原理分类,可分为电光、电热、电动、电子、制冷等五大类,这种分类方法应用不广。

(1) 电光类电器:利用电光源组成的用电器具,包括各种照明用灯具、照明器和幻灯机等。

(2) 电热类电器:利用电热元件将电能转换为热能的用电器具,包括电饭锅、微波炉、电热毯、电热水器等。

(3) 电动类电器:利用电动机或电磁铁将电能转换为机械能的用电器具,包括洗衣机、电扇、吸尘器、电动剃须刀等。

(4) 电子类电器:利用电子技术获得声像效果的用电器具,包括电视机、广播收音机、磁带录音机、录像机、摄像机、电子计算机、电子游戏机等。

(5) 制冷类电器:以制冷系统为主来完成制冷功能的用电器具,包括电冰箱、空气调节器等。

实际中使用较多的是按产品功能与用途分类,具体分为制冷器具、空调器具、通风器具、取暖器具、清洁器具、熨烫器具、整容器具、保健器具、厨房器具、声像器具、娱乐器具及其他各类。

(1) 制冷器具 (refrigerating appliance):利用人工制冷方法,在箱内及容器内产生低温,以冷藏和冷冻肉类、菜蔬、食品或制作冷食、冷饮的器具。如电冰箱、冷冻箱、冷饮机、制冰机、冰淇淋器等。

(2) 空调器具 (air conditioning appliance):用于调节室内空气温度、湿度、交换室内外空气以及去除空气中尘埃及有害气体的器具。如房间空气调节器、空气净化器、空气去湿器、空气加湿器等。

(3) 通风器具 (ventilating appliance):由电动机带动风叶旋转推动空气产生气流,以加速空气流动或交换空气的器具。如台扇、落地扇、顶扇、吊扇、转页式风扇、回转扇、换气扇等。

(4) 取暖器具 (warming appliance):利用电热元件,使人体直接或间接获得热量的器具。如电热毯、电暖炉、远红外取暖器、家用取暖器等。

(5) 清洁器具 (cleaning appliance):用于清洁衣物或室内环境的器具。如洗衣机、真空吸尘器、地板打蜡机、擦窗机等。

(6) 熨烫器具 (ironing appliance):利用电热原理,对衣物、花绣等针纺织品进行熨烫,使之平整、定型、挺括的器具。如电熨斗、熨衣机、熨裤机等。

(7) 整容器具 (beauty making appliance):用于人们修饰容貌的器具。如电吹风、卷发器、电热梳、电推

剪、电动剃须刀、超声波洗面器等。

(8) 保健器具 (health appliance):用于家庭医疗护理的器具。如电动按摩器、电子血压计等。

(9) 厨房器具 (kitchen appliance):用于食物加工、烹饪、餐具清洗的器具。如电饭锅、电炒锅、电水壶、电烤箱、电磁灶、微波炉、洗碟机、排油烟机、电动绞肉机、蔬菜混合机等。

(10) 声像器具 (audio - video appliance):利用电子器件,通过电子线路,产生声音和图像的器具。如收音机、电视机、录音机、录像机、组合音响等。

(11) 娱乐器具 (recreational appliance):用于丰富业余文化生活的器具。如电动玩具、电子游戏机、电声乐器、电子乐器、自动照相机等。

凡不属于上述各类器具的,如家用电动缝纫机、家用电子缝纫机、电子钟、电子门铃等统归为其他家用电器。

展望 家用电器产品的发展趋势主要是向着智能化、自动化、节能和多种能源的利用、无环境污染的方向发展。

(1) 智能化:广泛采用电脑控制,提高家用电器的智能化程度。装有声音合成和声音识别系统的家用电器,将可以实现真正的人机对话。

(2) 自动化:多种自动化的产品如洗、烘、烫全自动化的家用洗衣机,能自动烹调的微波炉等已相继问世。将家用电器和计算机相结合的家庭自动化控制系统,可使未来的家庭实现在家工作、在家上学、在家购物、在家医疗。这种家庭生活的高度自动化,将改变人类传统的生活方式。

(3) 节能和多种能源利用:开发电冰箱的高效压缩机、低导热的隔热层、改进冷媒,使电冰箱耗电大幅度降低。开发多种能源的吸收式冰箱。研制高性能大容量的太阳能电池,发展太阳能家用电器,为家用电器的发展开辟广阔的前景。

(4) 无环境污染:发展节水型产品,可以减少洗涤剂用量,以减少对水源的污染。发展超静音产品,可大大降低噪声污染。开发氯氟烃类物质的替代物,将对制冷电器和空调器制造业的发展产生深刻的影响。

(钟载传)

jiayong dianqi nenghao

家用电器能耗 (energy consumption of household electrical appliances)

以电为动力的家用电器器具在某一工作状态下、在规定的时间内所消耗电能的总和。也有以家用电器器具在几种不同的正常工作状态下输入功率的变化,或在一个工作周期内瞬时输入功率的变化来衡量家用电器能耗的。



评价家用电器能耗可分别采用日耗电量、时耗电量、工作周期耗电量、单位功效电耗、额定输入功率和热效率等。

(1) 日耗电量：指器具在一定的工作状态下，24 h 内的耗电量，单位为 kW · h/日。

(2) 时耗电量：指器具在一定的工作状态下，1 h 内的耗电量，单位为 kW · h/h。

(3) 工作周期耗电量：指器具在一定的工作状态下，完成一个工作周期的耗电量，单位为 kW · h。

(4) 单位功效电耗：指完成单位功效所消耗的电量。

(5) 额定输入功率：指器具在额定工作状态下，对其所提供的全部有功功率，单位为 W。

(6) 热效率：指电热器具在稳定工作状态下，单位时间内通过器具获得的有效热量与该段时间内所消耗电能的当量热量之比。

1985~1990 年中国家用电器耗能情况见表。

1985~1990 年中国家用电器耗能

项 目 \ 年 份	1985	1986	1987	1988	1989	1990
居民生活用电量 (亿 kW · h)	222.5	247.9	286.5	343.3	395.2	460.6
居民生活用电量占总 用电量的比重(%)	5.83	5.94	6.20	6.75	7.20	7.52
年人均生活用电量 [kW · h/(人 · 年)]	21.4	23.5	26.5	31.3	35.5	40.3

发达国家居民生活用电量占总用电量的比重在 25%~40% 之间，年人均生活用电量 1100~4300 kW · h/(人 · 年)。中国居民生活用电无论是占总用电量的比重，还是年人均生活用电量，都是较低的。

降低家用电器能耗是世界各国共同关心的问题。通过制订家用电器节能政策和法规，制订家用电器能耗指标，依靠技术进步节能，加强宣传、普及家用电器节能知识等措施，可以取得明显的节能效果。

(张友良)

jiayong dianqi zaosheng

家用电器噪声 (noise emitted by the appliances)

家用电器运转时产生的声波。家用电器一般放置在供人居住或活动的封闭式小型空间内，噪声源与人之间的距离较近，由于空间小，声波混响严重，人所感受到的除直达噪声外，还有相当一部分混响声。电冰箱、房间空气调节器等家用电器运行时间长，在夜晚人们睡眠时仍在工作，因此其噪声对人的影响很大。噪声的高低已成为衡量家用电器产品性能的重要指标。

重要指标。

描述噪声的物理参量有频率、幅值及时间历程特性。所谓时间历程特性系指声级大小随时间变化的关系，可分为平稳噪声、非平稳噪声和脉冲噪声。由于人体对不同频率、不同历程特性的声波感知灵敏度不同，因此在评价机器噪声对人们的影响时，应在考虑噪声客观物理量的基础上再考虑人的主观感觉特性。

为了模拟人耳对声波的感觉特性，在声级计的电路中加入一组不同特性的滤波器，形成计权网络，其作用是以同一感觉特性对不同频率的声波进行衰减或增益。这样测出的声级称为计权声级，分为 A、B、C、D 等几种。其中 A 计权是按照等响曲线中 40 dB 曲线设计的。它较好地模拟了人耳对较低声级如家用电器噪声的感觉特性。

家用电器辐射的声压级较低，评价其噪声时，均采用 A 计权声级，记作 dB (A)。另外，人体感觉到的噪声高低除与家用电器本身辐射的噪声有关外，与家用电器所处的声学环境有很大关系。为了客观地评价产品的噪声高低而去除所处环境的影响，国际标准化组织 (ISO) 制订了统一的国际标准，采用声功率级 L_w [dB (A)] 作为评价产品噪声性能的物理量，而取代以往沿用的声压级 L_p 。中国已于 1982 年对家用电器噪声制订了统一的国家标准 GB4214《家用电器噪声声功率的测定》，规定声功率级作为评价家电产品噪声的性能参数。国际电工委员会 (IEC) 曾于 1978 年制订了统一的国际标准 IEC704—1《家用电器及类似用途电器噪声测试标准》，该标准是以 ISO3743 和 ISO3744《噪声源的声功率测定》为基础制订的。

近年来为提高家电产品的竞争力，世界各国都开展了家电产品噪声控制的研究。综合起来，有以下几方面的发展。

(1) 采用新型材料。阻尼材料最早应用于航天工业，近年来随着家电产品降噪要求的提高，已应用于家电工业。如日本、韩国生产的静音洗衣机，采用了双层复合阻尼钢板，使产品噪声大幅度降低。

(2) 综合应用吸声、隔声、消声器措施。日本东芝公司电冰箱采用上述措施后，噪声明显降低。中国北京家用电器研究所对国产电冰箱的噪声，采用吸声、隔声、消声器措施也取得了较满意的降噪效果。

(3) 采用新型低噪结构和部件。空调机行业中通过优化风机的叶片形状，降低其空气动力性噪声，采用高效低噪的旋转式压缩机取代活塞式压缩机，都取得了较满意的效果。

(4) 改善家用电器所处的声学环境特性。若居室内混响较严重，通过铺设地毯、贴柔性壁纸、安装吸声装饰顶棚等措施，不仅美化了环境，还可降低家电产品

噪声对人的影响。

(杨伟成)

jiayong dianqunuanqi

家用电取暖器 (household electric heater)

利用电热元件把电能转换为热能,加热室内空间的家用电器。按其主要传热方式可分为两大类:对流式和辐射式。

对流式电取暖器 对流式又可分为自然对流式和强制对流式两种。

自然对流式电取暖器 利用冷热空气的自然对流,将室内空间加热。

自然对流式电取暖器的壳体上方设出气口,下方设进气口,中间装电热元件(通常是电热管)。通电后,电热元件周围的空气被加热上升,从出气口流出。较冷的空气从下方进气口流入壳体,补充到电热元件周围。如此循环,使室内空气逐渐升温。当环境温度到达规定值时,控温元件自动切断电源。通过功率调节开关,可控制电热元件的接通数量,从而调节加热功率。这种电取暖器的电热元件本身有基本绝缘,与壳体间还有一层绝缘,因此使用较安全。

充油式电取暖器也是一种以自然对流为主要热交换形式的取暖器。电热管装于散热效果较好的腔体下部,腔体内装变压器油等传热介质油。通电后,腔体下部电热管周围的油被加热后,升到腔体上部,通过腔体表面,将热量传出去,加热周围空气。散热后冷却的油下降到腔体下部电热管周围又被加热。电取暖器周围的热空气上升后,下部冷空气补充到电取暖器周围,如此反复循环,使室内空间逐渐升温。这种电取暖器的温度调节器,在油温升到规定值时,自动切断电源。电取暖器外表面温度一般不超过 85℃,热安全性较好,不易烧伤人体。但这种电取暖器热惯性较大,升温慢,不宜经常开关。

强制对流式电取暖器 也称暖风机,其结构如图 1 所示。利用风机鼓动

空气通过电热丝或 PTC 电热元件,强制空气对流,进行热交换。利用电热丝加热的暖风机可装限温器,当热风出口或空气进口被堵,机内温度到达规定值时,限温器动作切断电源。

使用 PTC 元件加热的暖风机,因 PTC 元件具有恒温特性,不需装限温器。

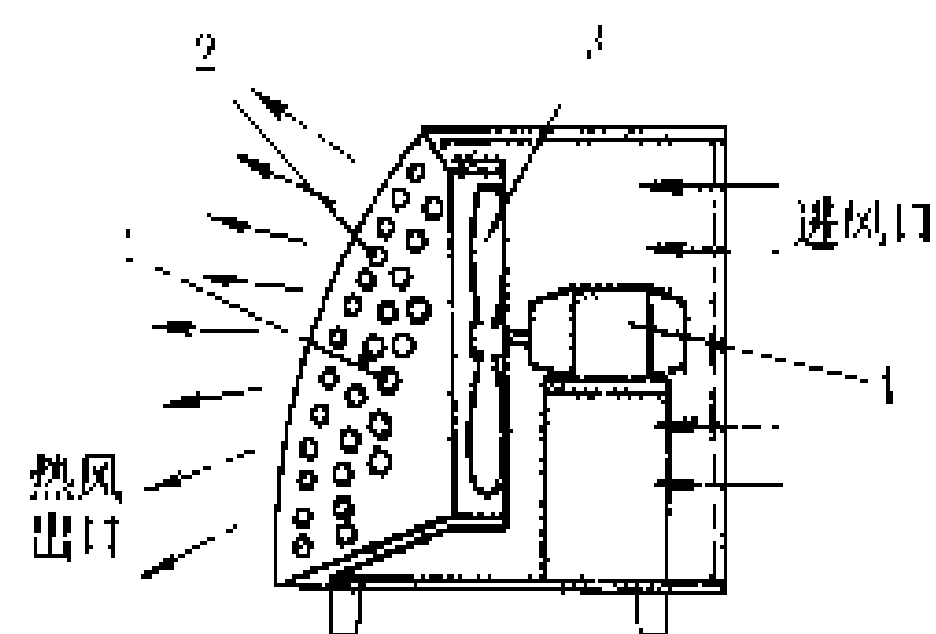


图 1 暖风机结构图

1—电热管; 2—防护栅;
3—风叶; 4—风机

辐射式电取暖器 如图 2 所示。利用电热元件热能的辐射、反射等作用,加热室内局部空间。主要由电热元件和反射罩组成,电热元件有电热丝、电热管和石英管等。

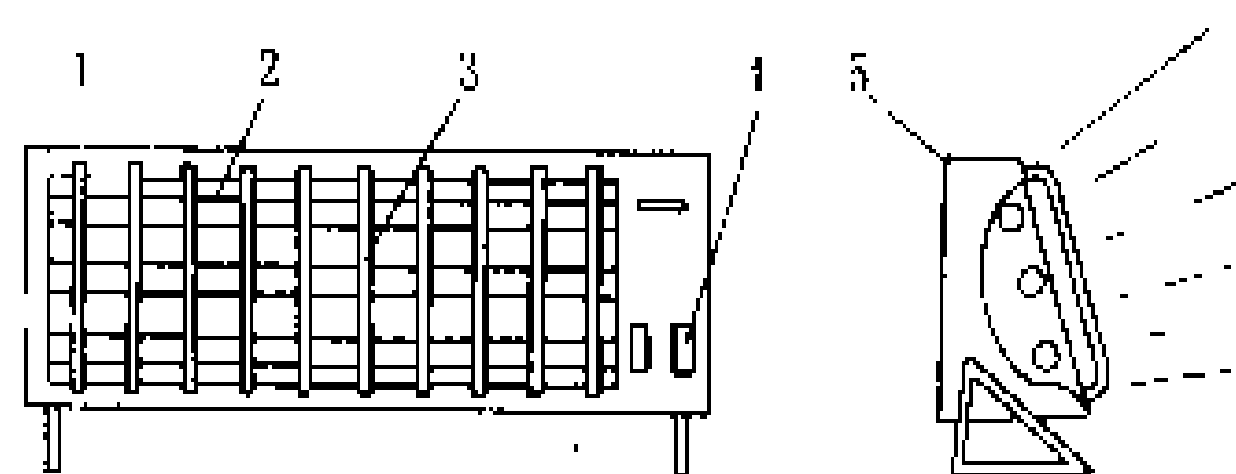


图 2 辐射式电取暖器示意图

1—外壳; 2—防护条; 3—辐射石英管电热元件;
4—功率调节开关; 5—反射板

辐射式石英管电取暖器又称远红外线电取暖器,一般装两支石英管,利用功率调节开关使其一支或两支通电工作。石英管内电热丝通电后发可见光和近红外光,石英玻璃管吸收这些光后,产生晶格振动发射远红外线,人体和衣服对远红外线有较强的吸收特性,并很快转化为热能,从而达到取暖目的。

电取暖器功率较大(常用 400~2000 W),应慎重选用。

(刘有常)

jiayong dianzi fengrenji

家用电子缝纫机 (household electronic sewing machine)

一种装备有微型电脑,用来控制缝纫操作的多功能缝纫机。中国生产的手提式轻金属电子多功能缝纫机,可用于家庭缝纫、绣花、钉钮扣、锁钮孔、嵌线缝、包缝、拼缝、暗缝及各种花纹图案的缝制,并具有慢速启动、电子调速、停针位置选择、花纹图案选择发光显示等方便操作的功能。

1975 年美国胜家缝纫机公司首先研制成功一台微型电脑控制的多功能缝纫机—Athena 2000 型。这是缝纫机发展史上的重大突破。其后,西德“胜家”Futura—2 型,加拿大“胜家”Diana 型,日本“力卡”Mighty A303 型也相继问世。

电子缝纫机与万能缝纫机在外形上无甚差别,都是悬臂台式,可以罩在机匣里,便于提动和存放,但其内部结构却大不一样。电子缝纫机腔内有一只微型电脑,体积只有火柴匣大小,其中包含有 8000 多个晶体管元件组成的电子线路,根据操作者的预定要求,电子线路操纵两台线性马达,再控制着针和织物的相对位置,即控制着送布方向和送布量以及最佳机针摆幅,从而形成不同的锯齿形线迹,使其具有不同的功能。

电子缝纫机一般都能存储 500 种以上的针迹,组成 30 种以上的缝纫图案,并将功能扩大到 25 种以

上。几乎所有电脑都备有保险装置，可防止缝纫过程中的误动作（如断线、断针及花纹错位）。

电子缝纫机因用微型电脑取代了机械式多功能缝纫机的 300 多个机械零件,其中包括复杂的花模机构,所以结构简化。其使用功能不但优于最先进的机械式缝纫机,而且使用方便。电子缝纫机机壳正面饰框中有一或二排花纹选择按键,每个按键都显示若干种图案,操作人员只需轻轻触摸一下欲选图案按键,即完成选择工作。电子缝纫机的运转几乎是无噪声的,这大大改善了劳动条件。

电子缝纫机除了达到缝纫自动化,还增加了功能,提高了缝纫效率,尤其是消除了技能上的差异。有的缝纫机能及时地报告故障,并记住某缝纫的全工序,以便重复缝纫。有的带有三个机头,把取件、处理料和缝纫集于一体。

(施 非)

panxing xudianchi

碱性蓄电池 (alkaline accumulator) 见
蓄电池。

jianzhu cailiao gongye yongdian

建筑材料工业用电 (electrical energy utilization of constructional material) 建筑材料包括一般建筑材料、非金属矿及其制品和新型非金属材料。其生产工艺一般包括开采、烧制和进一步的加工等环节。生产的产品有 500 多种。建筑材料开采用电不多。中国 1990 年建筑材料开采用电只占全国用电量的 0.6%。建筑材料烧制多用窑炉煅烧,需用热量大,多以煤炭为热源,只在碎、磨、传送、旋转、送风等工艺上使用电力。1990 年中国建筑材料加工用电占全国用电量的 6.09%。

大型建筑材料工业多为窑炉连续生产,用电负荷比较平稳且多为二级负荷,少数为一级负荷(见用电负荷级别),年最大负荷利用小时高。

(王明德 顾嘉棠)

panzhuwu dianjiare sheshi

建筑物电加热设施 (electroheat installations for room heating and for heating of roads pipelines etc) 利用电能对建筑物进行加热的工程设施。

建筑物电加热设施的加热对象包括住宅、商场、宾馆饭店、医院、影剧院、游泳池、体育场馆、道路、停车场、机场跑道、铁路轨道、输油管线等各类建筑物。加热目的主要是室内供暖（或空调）、供应热水、屋顶

或路面融雪、为输油管线加热保温等。加热特点是，加热对象的容积大，面积广或距离长，但加热温度低，一般为 $0\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，最高不超过约 200°C 。与由燃煤或燃油锅炉提供的热风、热水或蒸汽加热比，电加热的优点是对环境污染少，温度控制方便且准确、设备安装和维护便利等，但一次投资和运行费用常较高，因此采用前要先进行全面的技术经济分析。建筑物电加热设施在工业发达国家用得已较普遍。中国用得还不多，预期也会有相应发展。

建筑物电加热设施按所采用的设备、器件和加热方法分,主要有热泵设施、感应发热管设施和软电热体设施三种。导电涂料电加热设施在开发中。用于建筑物内部局部加热的房间小型加热器、电暖炉等不包括在内。

热泵设施 热泵是把热能从温度较低的物体转移到温度较高的物体一类设备,有蒸汽压缩式、空气压缩式、热电式、蒸汽喷射式、吸收式等几种型式。其中蒸汽压缩式热泵以其结构紧凑、供热量大、效率高、使用安全、价格低等优点,应用最广。

蒸汽压缩式热泵通常由用电动机驱动的压缩机、冷凝器、蒸发器、控制器和必要的配件组成。其工作原理与蒸汽压缩式制冷机一样，即工作介质的蒸汽在受到压缩并冷凝时释放热能，而其液体在蒸发和膨胀时吸收热能。工作介质主要是氟化烃类化合物（氟利昂）或氨。工作过程见图1。工作介质在压缩机的压缩下在冷凝器中冷凝并释放出热能。此热能由流经冷凝器的载热介质（水、也可以是空气或其他流体）吸收，通过

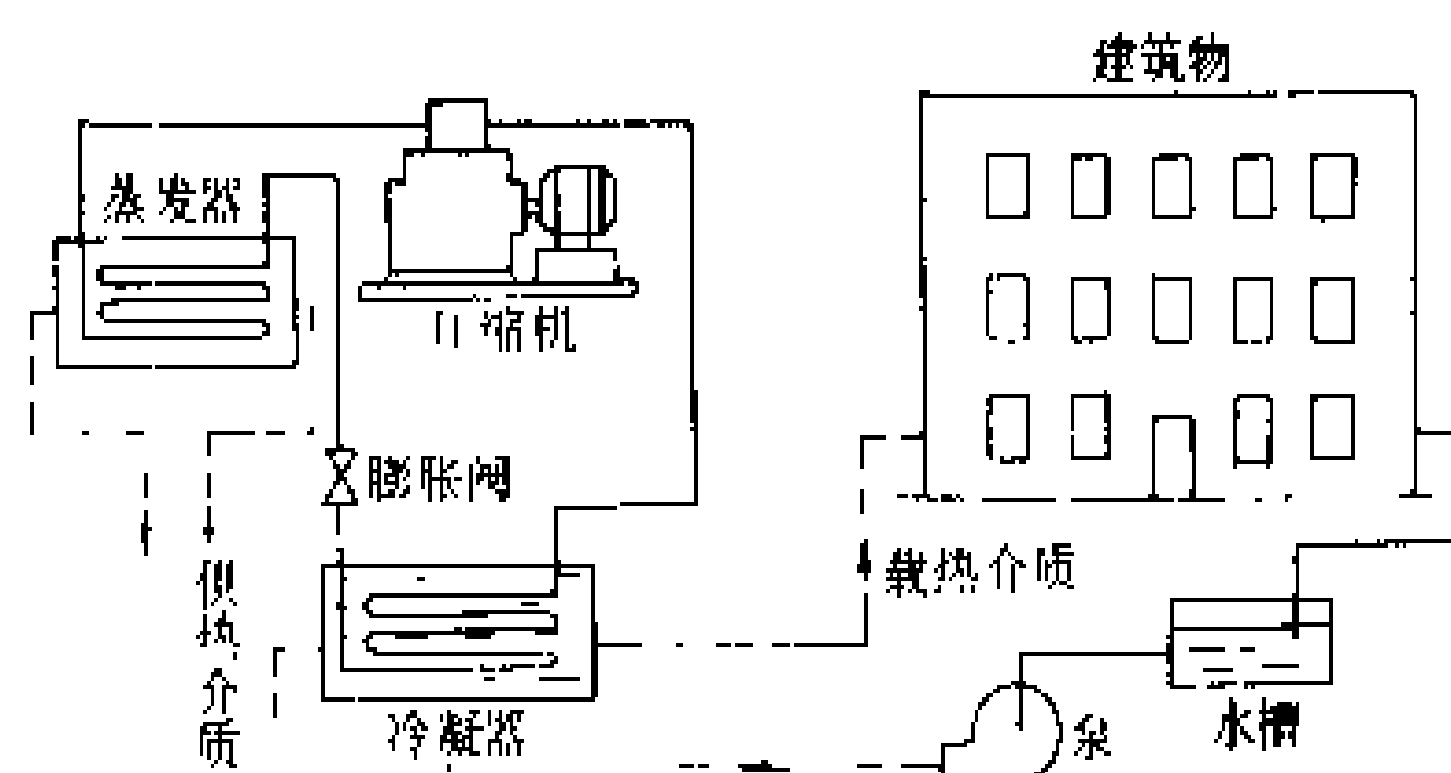


图 1 蒸汽压缩式热泵工作原理图

管道送进到建筑物中。从冷凝器出来的工作介质在蒸发器中蒸发并吸收来自供热介质（环境空气、地表水或从土壤、地热、太阳能、工业废水废气废油等吸取了热能水或盐水等）的热能重新变成蒸汽进入压缩机。这样周而复始，热能不断从低热源送进到建筑物中。蒸汽压缩式热泵的一个重要技术指标是效益系数，即热泵向高温物体的供热速率(kJ/s)与压缩机所消耗的电功率(kW)之比。该系数与热泵的工作温度有密切关系。例如，当冷凝温度为50℃、蒸发温度为0~10℃时，该

系数为 3.5~4.5；而当冷凝温度提高到 80℃、蒸发温度为 -20~0℃ 时，该系数即减小到 1.4~1.9。因此，当热源温度较高而加热温度低的情况采用热泵可节约能源。

热泵设施由热泵、敷设在建筑物中的管道，以及阀门和控制器件等组成。由于热泵工作时，冷凝器的供热和蒸发器的制冷同时进行，因此，通过管道的适当布置和对阀门开启位置及开启度的调控等，热泵设施可用于建筑物的室内空调、热水供应、冷藏库制冷、内部热能调配，以及屋顶或路面的融雪等许多种用途，并且有可能利用水槽把电力系统晚间低负荷期间的电能积蓄起来，有利于电力系统调峰和降低运行费用。

热泵虽在 19 世纪就已出现，但到 20 世纪 60 年代才在美国得到推广应用。其后每一次能源危机和燃料涨价总会在一些国家引起热泵热。在工业发达国家，热泵不但应在建筑物加热中，而且在工农业生产中都已得到相当广泛的应用，如向鱼类、肉类等加工厂提供温水、为冷库制冷、向蔬菜栽培温室供热、回收工业废热等。设备功率：用于建筑物加热的大到数百千瓦，用于工农业生产的可到上万千瓦。在中国，热泵设施也已开始得到应用，其中利用热泵的空调设施在一些大中城市中用得已较多。

感应发热管设施 感应发热管（见图 2）由强磁性钢管和耐热绝缘电线构成。耐热绝缘电线穿过钢管中间，与钢管串联后接到工频交流电源上 [图 2(a)]，或从钢管中穿出后接到电源上 [图 2(b)]。电源接通后，由于趋肤效应，电流将集中在钢管内表面上。所用钢管是碳

钢管，内径为 10~50 mm，壁厚约 3 mm，通常每米钢管加 0.3~0.7 V 电压，钢管中的电流为 50~250 A，每米钢管的发热量为 15~150 W，电路的功率因数约 90%。发热管的工作温度决定于绝缘电线的耐热性能。当用聚四氟乙烯绝缘时，最高可到 220℃。

感应发热管设施由电源变压器、感应发热管、绝缘保护层、接线盒、控制箱等组成。这类设施主要用于常温时会凝固或粘度大而加热后粘度变小的流体（如原油、重油、熔融硫磺等）的远距离输送管道的加热和保温，也用于路面（如发电厂、变电所的巡视路面）融雪、铁路道叉防冻等。用于管道加热时，发热管焊接在管道

外侧，外面再加绝热层和保护层；用于路面加热时，发热管道常浇筑在路面混凝土中。

采用感应发热管设施加热的优点是：①加热均匀；②当用耐热高压绝缘电缆时，输送管道即使长到 20 km，也不需要在中途设馈电点；③绝缘电线由钢管保护不易受机械损伤；④绝缘电线因绝缘老化等原因，而损坏时可在不破坏发热管和绝缘保护层的情况下更换；⑤用于路面加热时路面的机械强度要比用其他加热方法时高得多。

感应发热管是日本于 20 世纪 60 年代末首先开发的，其后中东产油国、联邦德国等相继采用，在石油工业，特别在海上石油开采中起重要作用。据 1988 年资料，全世界采用感应发热管设施的输油管道总长已有约 1000 km。

软电热件设施 由软电热件——电热电缆、电热带、电热毯等（见电热元件）和绝缘保护层，以及必要的电源变压器、接线盒、控制器等组成的电加热设施。主要用于化工厂管道、阀门、反应罐等的加热保温，自来水管、阀道等的防冻，室内地板加热等。软电热件绕在或衬在被加热物体表面，外面再加绝热保护层。这类设施的加热范围比前两类的要小，施工也较方便。

（花 恺 蒋聪吉）

jiangdi xiansun jishu

降低线损技术 (reduce line loss technology)

减少电力网电能损耗的措施与方法。电力网中输送、转换、分配电能的元件，如线路、变压器、开关、互感器等是由导线或导线和铁芯组成的。由于导线和铁芯具有一定的电阻或磁阻，当电流或磁通流经导线或铁芯时，要消耗一部分电能，这部分电能损耗称为线路损失，简称线损。电力网电能损耗的程度以线损率 ΔA (%) 表示，即

$$\Delta A (\%) = \frac{\Delta A}{A_g} \times 100\%$$

式中 ΔA 为电力网在某一时期内损耗的电量； A_g 为电力网在同一时期内所供的电量。线损率是电力网的一项技术经济指标。

线损分为可变损失和固定损失两部分。可变损失指随输送电能量大小而变动的电能损失，即与负荷大小有关的损耗，包括：①升压、降压变压器的铜耗；②输电、配电线路以及接户线的损耗；③变电所母线、开关、电抗器和互感器绕组等的损耗。固定损失指与负荷大小无关的电能损失，只要设备接通电源，就存在这部分损耗。在电压变化不大时，这部分损耗基本上是固定的，包括：①升压、降压变压器的铁损；②电容器的介

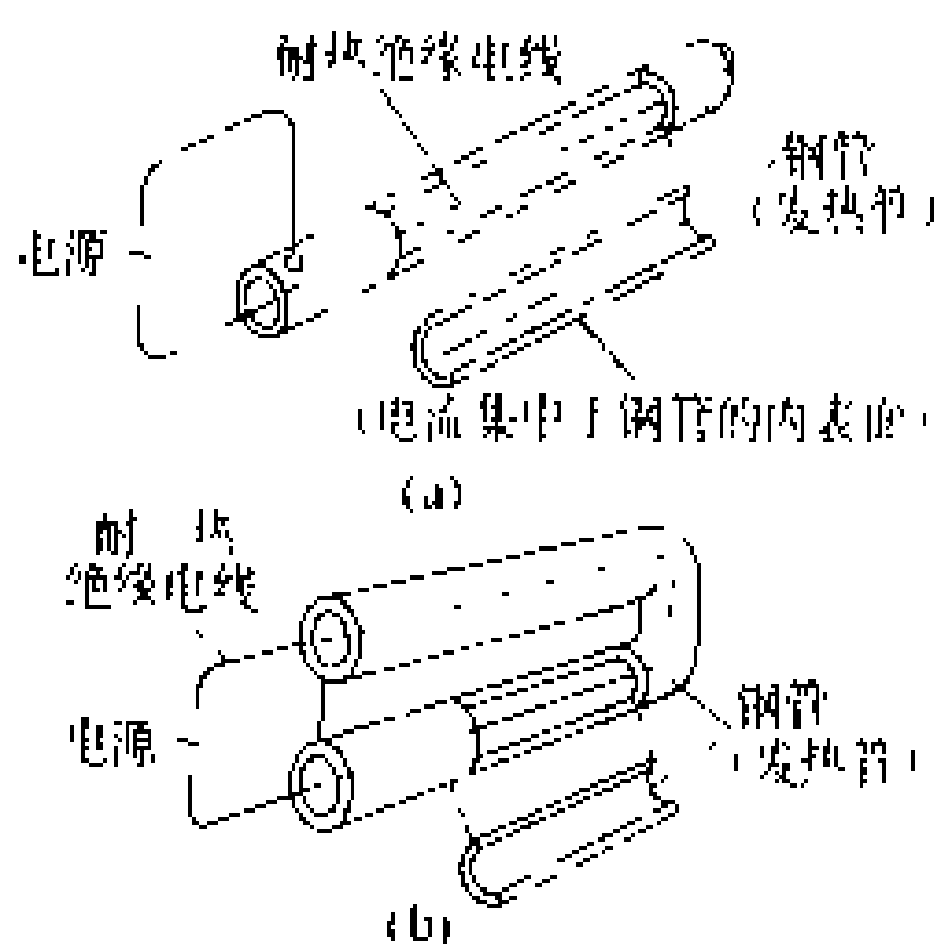


图 2 感应发热管原理图

(a) 与钢管串联接入电源；

(b) 从钢管穿出后接入电源



质损耗；③电能表电压线圈损耗；④调相机、电抗器的固定损耗；⑤互感器铁芯损耗；⑥110 kV 以上电气设备的电晕损耗。

减少电力网电能损耗的主要措施与方法有简化电压等级,减少变压次数和变电重复容量;合理的电力网结构;调整用电负荷,保持均衡用电;变压器经济运行;合理提高电力网的运行电压水平;提高用电功率因数。

简化电压等级、合理升压、减少变压次数和变电重复容量 线路和变压器是电力网的主要元件,其损耗占线损的比重很大,多一级电压,就多一次变压,就多消耗 1%~2% 的电能损耗。因此,随着电力系统容量的增加,电力网的扩大,对电力网进行升压改造、简化电压等级,是降低线损的有效措施。如将 110 kV 引入负荷中心,直接降压为 10 kV 配电,取消 35 kV 电压等级,减少了变电重复容量,既可提高电力网输电能力和电能质量,又可降低线损。

合理的电力网结构 合理的电力网结构是满足用电需求,保证电能质量,降低线路损耗的一项根本措施。随着社会经济的发展,用电需求呈现不断增长的趋势。因此,在规划、建设与改造电力网时,始终要以有合理的电力网结构为目标,使电力网内有功、无功电源的配置、网架的发展,配电方式改变等既能适应用电需求增长的需要,又能降低线损。如改造不合理的城市电力网是降低线损的一项重要措施。

调整用电负荷,保持均衡用电 调整用电设备的运行方式,合理分配负荷,保持三相负荷平衡,使工矿企业用电均衡,可降低高峰电流,降低线损。

变压器经济运行(见变压器节电技术)。

合理提高电力网的运行电压水平 适当、合理地提高电力网的运行电压水平,既可提高电能质量,又可降低线损。提高运行电压与降低线损的关系为

$$\Delta P(\%) = \left[1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{\alpha}{100} \right)^2} \right] \times 100\%$$

式中 $\Delta P(\%)$ 为线损降低的百分数; α 为电压提高的百分数, %。当供电线路的电压提高 5% 时,线损可降低 9%。

提高用电功率因数 电力网中电能损耗与用电功率因数的关系为

$$\Delta A = \frac{P^2}{U^2 \cos^2 \varphi} \times R$$

式中 ΔA 为电力网电能损耗; P 为用电的有功功率; U 为供电线电压; $\cos \varphi$ 为用电功率因数; R 为电力网的电阻。

上式表明当电力网输送的有功功率及供电电压一定时,线损与用电功率因数的平方成反比。提高功率因

数可以有效地降低电力网电能损耗。

参考书目

叶元煦. 企业合理用电. 北京: 中国标准出版社,

1985

(蒋凤铎 徐纪法)

jiāoliú biānjí tiáosu

交流变极调速 (AC motor speed control by pole-changing)

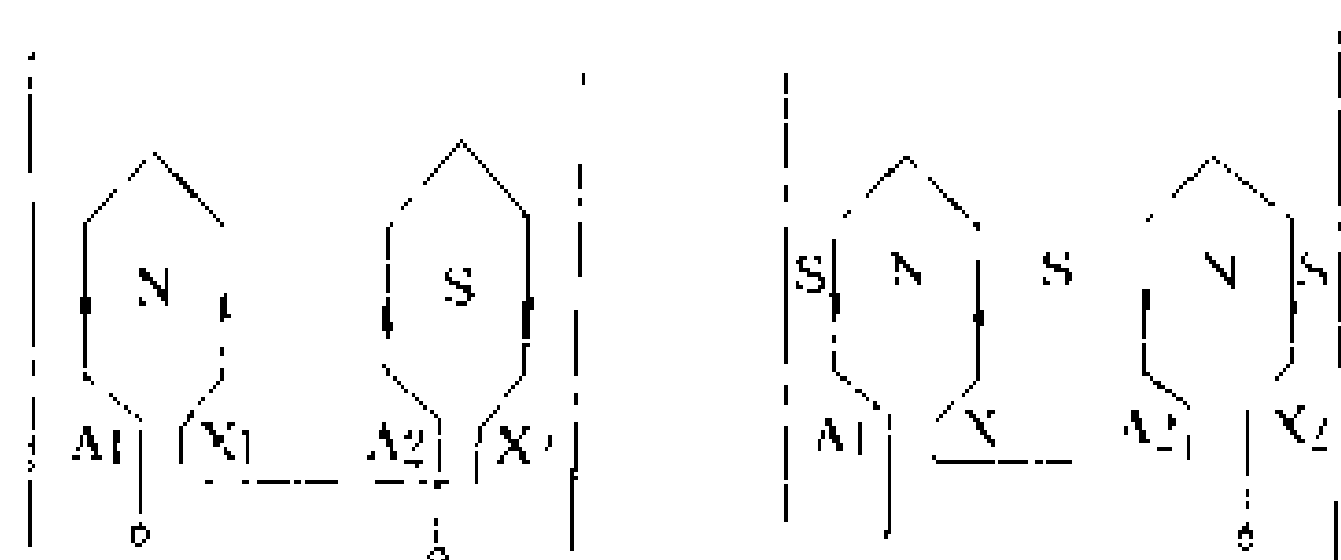
改变交流电动机定子绕组极对数实现交流电动机调速的技术。在供电频率不变的情况下,交流电机的同步转速与极对数成反比,改变绕组极对数,就能改变电机的转速。虽然变极调速只能是有级调速,但由于其运行操作简单,使它普遍用在车、铣、镗、磨、钻床以及风机、水泵等设备上;抽水蓄能电站用的同步发电机-电动机、水头在大范围内变动的水轮发电机或抽水用的同步电动机也常采用变极调速。交流变极调速的方法有:双绕组变极调速,单绕组变极调速,单、双绕组混合变极调速三种。

(1) 双绕组变极调速。定子槽内放置两套不同极对数的独立绕组,不同极对数对应不同的同步转速。当电机由一套绕组切换至另一套绕组运行时,其转速发生相应地变化。双绕组变极调速可以应用正常分布的两套绕组,接线简单、跨接线很少。但这种方法会使电机的体积增大,用料增多,成本提高。为安置两套绕组,势必要增加槽深,引起定子漏抗加大,降低了感应电动机的过载能力和同步电动机的动态稳定性,因此很少采用。

(2) 单绕组变极调速。定子槽内放置一套定子绕组,改变该套绕组的连接方法可实现极对数的变更,从而达到运行在不同速度的目的。这种方法可以实现倍极比变极调速(如极数比为 2/4、4/8 等)。倍极比变极调速时,是将少极数绕组设计为正规的 60°相带绕组(每极每相槽数占一个极的 1/3,即 60°电角度宽),改变部分线圈的电流方向以得到多极数绕组。图中所示为 2:1 变速电机的接线原理,其中线圈 A2X2 在多极时改变了电流方向。非倍极比变极调速原理可以用极幅调制 PAM (Pole Amplitude Modulation) 加以解释,这是 1958 年英国的罗韦利夫(G. H. Rawcliffe)教授提出的变极原理。以 8 极电机变为 10 极为例,原定子绕组磁通势为 8 极磁通势波,现用幅值为 1 的两极矩形波调制,正半波调制后即原磁通势波,负半波调制后即原磁通势波反向,这意味着将该相绕组的一半(对应于负半波调制部分)反接,故称反向法变极。根据傅氏级数将调制后的磁通势波进行分解,主要包含有 10 极和 6 极的磁通势波。由于三相调制波系互差 120°的两极波,调制后的三相 6 极磁通势波在空间



上则同相位，且各相磁通势波在时间上又互差 120°电角度，因而合成的 6 极磁通势将为零，使调制后的定子磁通势变成了 10 极磁通势波（注意，为保持转向相同，必须改变接至电源的电机输入端相序），从而达到非倍数比变极调速。在实现单绕组变极时，甚至可以打破原来三相的界限，把各线圈重新组合为新的三相，即采用换相法变极。这些变极调速方法的实现，大大降低了调速电机的尺寸和成本。单绕组多速感应电动机的转子，一般都是笼型的，其转子极数能自动地与定子极数一致。单绕组变极调速还可做成三速甚至四速的，如极数为 8/4/2、8/6/4、10/8/6/4 和 12/8/6/4 等的变速电机。



倍极比调速电机接线原理图

(3) 单、双绕组混合变极调速。定子槽内放置两套不同极对数的独立绕组，而每套绕组又可以有不同的连接，得到不同的极对数。每个极对数对应一个同步转速，从而实现多种速度的改变。这种变极方法综合了前两种方法，容易实现多极调速，但其复杂性将超过前述任何一种方法。

变极调速系统由变极电机和其绕组的切换开关组成。在选用变极电机时，应当注意不同极数下的额定转矩和额定输出功率有所区别。假定转子额定电流不变且忽略变极前后转子绕组的功率因数的变化时，额定转矩与气隙磁密成正比，额定输出功率（即电动机容量）将与气隙磁密成正比而与极对数成反比。即不同变极方式对转矩和功率影响很大，应根据负载需要选择合适的变极电机。变极后功率变化不大的电机，适合于带恒功率负载，如拖动金属切削机床；变极后转矩变化不大的电机，宜于带恒转矩负载，如起重机、运输带等机械。

参考书目

许实章著，交流电机的绕组理论，北京：机械工业出版社，1985

（施传立）

绕线转子感应电动机转子回路引入附加电动势后，电动机转差率将发生相应的变化，从而达到了调速的目的。故这种调速方法实质上属于改变转差率的调速（见交流电动机调速）。

基本原理 在电源电压和负载转矩不变的情况下，感应电动机的转子电流 I_2 近似为常数，即

$$I_2 = \frac{sE_{20}}{\sqrt{R_2^2 + (sX_{20})^2}} \approx \text{常数}$$

式中 E_{20} 为转子开路电动势； R_2 为转子回路电阻； X_{20} 为转子静止时转子绕组每相漏抗； s 为转差率。如果在转子回路中引入一个三相对称附加电动势 E' ，其频率等于转差频率，相位与转子感应电动势的相位一致或相反，则转子电流就取决于转子回路中电动势的代数和，即

$$I_2 = \frac{sE_{20} \pm E'}{\sqrt{R_2^2 + (sX_{20})^2}} \approx \text{常数}$$

电动机在正常运行条件下 s 很小，故 $R_2 \gg sX_{20}$ ，忽略 sX_{20} ，则上式变为

$$sE_{20} \pm E' = \text{常数}$$

E_{20} 是取决于电源电压、频率和转子绕组有效匝数的一个常数，因此，改变附加电动势 E' 的大小即可改变转差率 s ，从而改变电动机转速。若附加电动势的相位与转子电动势相位一致， E' 取正号，随着 E' 的增加， s 将减小，电动机转速上升，当 s 减小到等于零时，达到同步转速运行，如果进一步增加 E' ， s 变为负值，电动机将超过同步转速运行。若附加电动势的相位与转子电动势相位相反， E' 取负号。随着 E' 的增加， s 也将增加，电动机转速下降，当 $E' = 0$ 时，电动机转速最高，为固有机械特性上所确定的转速，显然，这种情况只能在低于同步转速下调节。

根据产生附加电动势方法的不同，交流串级调速可分为超同步串级调速和低同步串级调速。

超同步串级调速 可以在同步转速以上或以下进行调速。由于转子电动势的频率随转差率的变化而变化，因此附加电动势的频率必须随转子转速的变化而变化，这就需要一个与转子转速完全协调的变频装置，这种利用变频环节产生的附加电动势，可以实现超同步转速的调节。实质上，这是一种向感应电动机定、转子同时馈电的双向馈电调速方法，又称双馈电机调速。实现超同步串级调速的方法有两种，一种是转子交流-直流-交流变流方式，另一种是转子交流-交流变流方式。

(1) 转子交流-直流-交流变流方式超同步串级调速，其原理如图 1 所示。I、II 为两组可控桥，T 为变压器。改变 II 组或 I 组可控桥的逆变角，即可改变转子附加电动势的大小，达到调速的目的。当在低同步转速

jiāoliú chuánjí tiáosu

交流串级调速 (cascade speed control of AC motor)

在绕线转子感应电动机转子回路引入一个附加电动势实现调速的技术。当电源电压不变时，

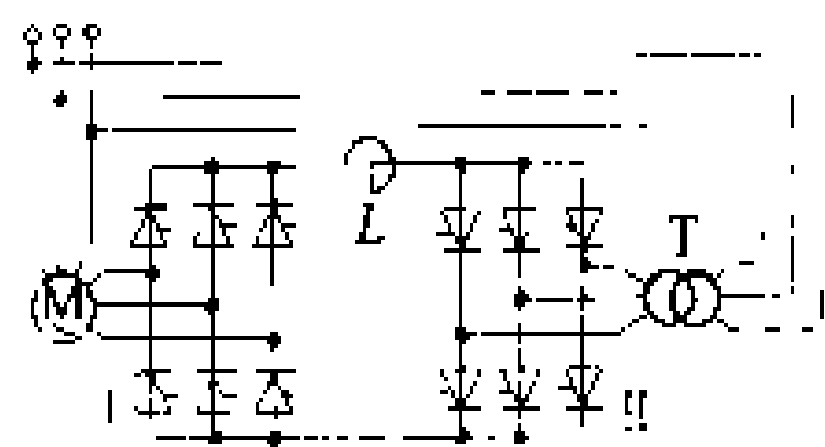


图1 交流-直流-交流
变流方式超同步串级
调速原理图

下作电动机运行时，I组桥处于整流状态，将转差功率变换为直流电能，然后经II组桥逆变成交流电，并经变压器反馈至电网。当在超同步转速下作电动机运行时，I组桥处于整流状态，通过变压器从电网吸收交流电能，并整流成直流电能，然后经II组桥逆变成与转子频率相同的电压，施加在转子电路里。所以它能双向传递功率，实现同步转速以下或以上的调节。

(2) 转子交流-交流变流方式超同步串级调速。其原理如图2所示。图中转子回路接入了交流-交流变频器（又称直接变频器或周波变流器）。该变频器是由两组反并联的晶闸管变流器组成，这两组晶闸管变流器交替工作，提供转子附加低频电动势而且其频率总与转子感应电动势频率相同，适当控制附加电动势的大小、相位和相序，便可以实现电动机转子和电源之间的频率转换和能量交换。

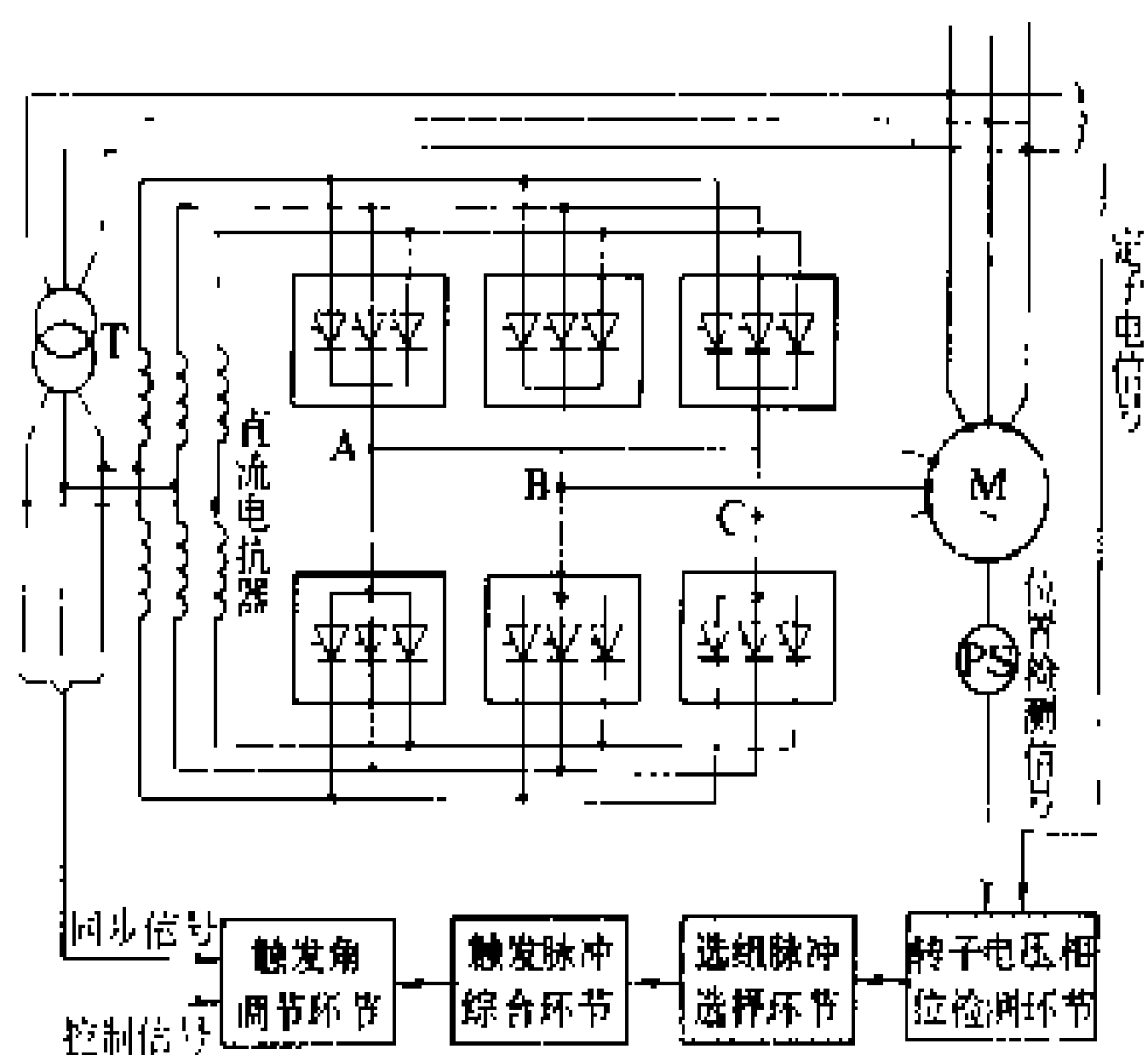


图2 交流-交流变流方式超同步串级调速原理图

这种调速方法既可以电动方式运行，也可以制动方式运行，而且具有较高的功率因数，但线路复杂，投资较多，维护也较困难。

低同步串级调速 只能在同步转速以下进行调速，这是一种广泛应用的串级调速方法。它不采用复杂的由频率控制的交流附加电动势环节，而将转子电动势通过整流装置变为直流电压，在直流回路中外加一个可调的附加电动势，避免了随时改变频率的困难。由于不可控整流装置只能单方向传递功率，只能将转子中的转差功率输出，而不能通过整流装置向转子绕组输入功率，因此这类串级调速方法只能实现低于同步转速以下的调节。低同步串级调速根据转差功率回馈方式的不同，可分为机械串级调速和电气串级

调速两种。

(1) 机械串级调速。其原理图如图3所示，感应电动机的转子电动势通过整流后加到直流电动机电枢两端，改变直流电动机的励磁，即可改变直流电动机的电枢电动势，也就改变了转子回路附加电动势的大小，从而改变转速。由于直流电动机与感应电动机同轴连接，所以两台电动机共同向负载输出机械功率，大大提高了运行效率。这种调速方法增加了一台直流电动机，使

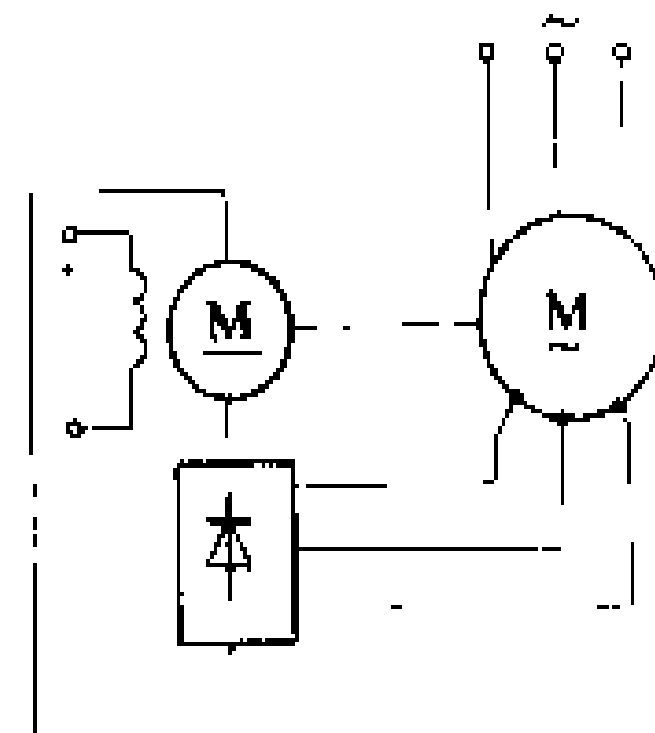


图3 感应电动机机械
串级调速原理图

系统的机组庞大且噪声大，当转速较低时，直流电动机不能产生足够的附加直流电动势，因而调速范围不大，通常在2:1以内。

(2) 电气串级调速。其原理图如图4所示，感应电动机转子的转差电动势经二极管整流后加至三相逆变器上，三相逆变器将直流电压逆变成三相交流电压，再经变压器将转差功率回馈到电网，改变逆变器中晶闸管的逆变角 β ，就可改变附加电动势 E_d 的大小，从而使电动机转速得到调节。这种调速方法线路较简单，效率较高。缺点是由于电动机、变压器都要从电网吸收无功功率，同时电动机本身的利用系数下降，所以这种调速方法的功率因数较低；其次，逆变器产生的高次谐波电流对电网产生不利影响，为此，在设计大容量电气串级调速系统时，必须考虑功率因数的补偿和高次谐波的抑制问题。

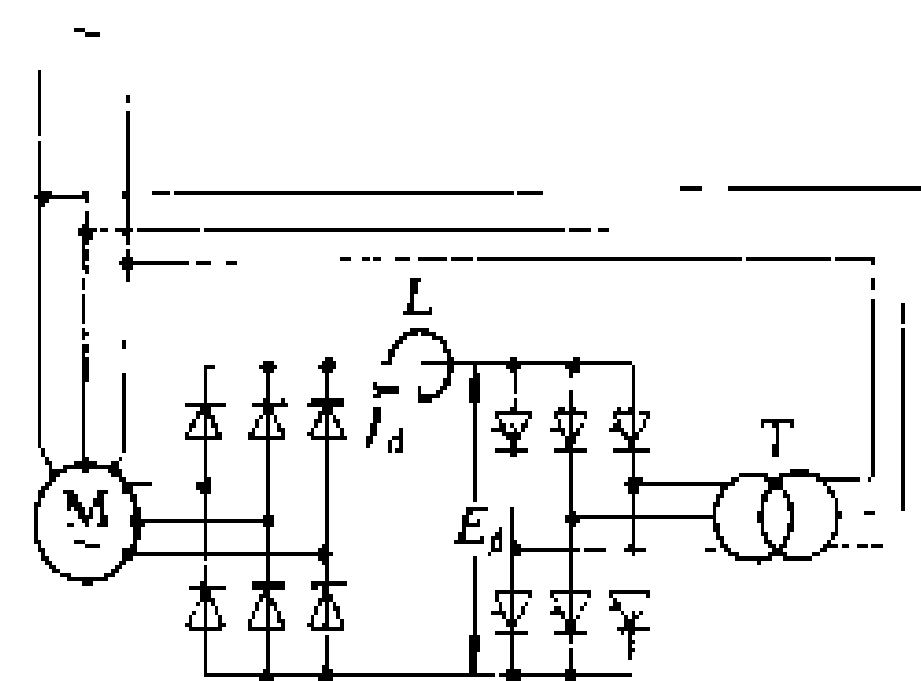


图4 感应电动机电气串级
调速原理图

参考书目

- 魏泽国主编，可控硅串级调速的原理及应用，北京：冶金工业出版社，1985
- 徐银泉主编，交流调速系统及其应用，北京：纺织工业出版社，1990

(叶 东)

jiaoliu diandongji

交流电动机 (alternating current motor)

依靠交流电源运行的电动机。交流电动机把交流电能转换为机械能，与直流电动机相比，它具有结构简单、价格便宜、维护方便、惯性小、工作可靠等优点，

单机功率、电压和转速都比直流电动机高得多。

交流电动机有同步电动机、感应电动机(异步电动机)和换向器电动机三大类。同步电动机运行时的转速与所接电源频率之比为恒定值,这一转速就是同步转速。感应电动机运行时的转速低于同步转速,转子绕组有笼型和绕线式之分。换向器电动机是经换向器向电枢绕组供电的。交流电动机又有多相和单相之分。

交流电动机有定子(也叫电枢)和转子两大部分,它们之间有气隙。定子由 0.5 mm 厚的硅钢片叠成,在叠片内圆冲有槽,槽内放电枢线圈,这些线圈按一定规律连成电枢绕组。同步电动机的转子为主磁极及励磁绕组,通过电刷和集电环,由外部直流电源向励磁绕组通入直流电流以产生磁场,这种结构称为旋转磁场式。一般同步电动机大都是这种结构。同步电动机也有将磁极装在定子上,而转子上嵌装三相交流电枢绕组,通过电刷和集电环与外电路接通,这种结构称为旋转电枢式。感应电动机的转子铁芯由 0.5 mm 厚的硅钢片叠压而成,可以是绕线式,也可以是笼型。笼型绕组是由嵌入(或铸入)转子槽内的铜条(或铝条)和两端的端环组成的一个闭合多相电路。

随着电力电子技术和计算机控制技术的发展,晶闸管和大功率晶体管价格的降低,交流电动机的调速技术渐趋成熟,调速性能和可靠性日益提高,设备价格不断降低,交流调速系统必将得到广泛的应用。

(金敬玖)

jiāoliú diàndòngjī bǎohù

交流电动机保护 (protection of AC motor)

对交流电动机运行中出现的故障和危及安全运行的异常工况所采取的保护措施。交流电动机在起动、制动或正常运行中,其供电电源系统、交流电动机自身及其负载,有可能出现故障或者危及安全的异常工况,交流电动机保护将自动切断电源,或者给出信号由值班人员消除异常工况的根源,以减轻或避免交流电动机及其他设备的损坏和对由同一母线供电的用户的影响。交流电动机所出现的故障和异常工况不同,其保护措施也不相同。

故障和异常工况 交流电动机的故障,主要是定子绕组的多相及单相短路;其异常工况,主要是过电流。

多相和单相短路 交流电动机定子绕组或连接交流电动机与电源开关的电缆或母线上可能发生多相和单相短路。发生多相短路的基本特点是出现大的短路电流,短路点离电源越近,其短路电流也越大。过大的短路电流,将可能导致定子绕组的损坏。因此,当发生多相短路时,需瞬时切断交流电动机的电源。交流电动机发生单相接地时,将产生接地电流,接地电流的大小

视所接电网的接地方式不同而不同。对于供电变压器中性点直接接地的电网,交流电动机发生单相接地时,接地点将经过变压器中性点接地支路形成回路,较大的接地电流将流经故障回路,这时应利用保护装置切断交流电动机的电源。对于供电变压器中性点不接地的电网,当发生单相接地时,接地电流小,可不切断电源。当电动机转子长时间堵转时,电动机反电动势接近为零,定子将产生大于额定几倍的电流,应切除电动机的电源。

过电流 造成过电流的主要原因有:所带的机械过负荷;供电电压下降致使转速降低;供电电压下降后又恢复时,感应电动机自起动;供电电网发生不对称,出现负序电流;同步电动机失步。如果较长时间的过电流会使电动机的温升超过最大的长期容许值(额定值),加速绕组绝缘的老化。

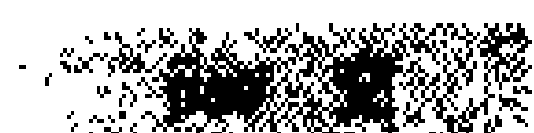
保护措施 交流电动机保护常用继电器来实现。继电器是当输入物理量(电量或非电量)达到规定值(整定值)时,其电气输出电路被接通(导通)或分断(阻断、关断)的一种自动电器。根据交流电动机的类型、容量和电压等级的不同,所采取的保护措施也不相同。中、小容量低压感应电动机,有的重要程度较低,可采用简单的保护;由于运行中发生漏电接地机会较多和容易发生断相、堵转等现象,需专门装设漏电保护、断相保护和堵转保护。大容量高压电动机的重要程度较高,应采用较完善的保护。同步电动机具有失步和励磁回路控制的特殊问题,需加设相应的保护。

中、小容量低压感应电动机保护 装有短路保护,堵转保护,过负荷保护,断相保护,低电压保护,漏电保护和定子绕组温度检测保护。

(1) 短路保护。当发生短路故障时,短路保护应瞬时切断电源。常采用熔断器、电流继电器或带电磁脱扣的自动开关来实现。如用熔断器作短路保护,必须附加断相保护。

(2) 堵转保护。当由于电气或机械原因造成电动机长时间堵转时,定子绕组将因过电流而产生过热。多采用电流继电器实现这种保护,但应避免电动机起动时(转子静止状态与堵转状态的物理情况相同)误动作,保护须经大于起动时间的延时后才切断电源。

(3) 过负荷保护。电动机过负荷容许的时间决定于过负荷电流的大小,这种关系称为电动机的过负荷(热力)特性。过负荷保护的特性(动作时间与电流之间的关系)应尽量接近电动机的过负荷特性。最简单的过负荷保护是利用热继电器来实现。该继电器结构简单、价格低廉,但对于重复短时工作的电动机,仅在其负荷特性是固定不变时,才能起保护作用。绕线型感应电动机,因其过负荷特性不同,不宜采用热继电器作为



过负荷保护。

(4) 断相保护。三相感应电动机发生一相断线后,造成电动机断相运行。这时定子电流严重的不平衡,将引起过热。根据三相电流不平衡这一特点,可安装带断相保护的热继电器作为过负荷保护,同时又可作为断相保护。

(5) 低电压保护。当电动机负荷不变时,如电网电压降低,定子电流将显著增加而产生过电流。常利用供电回路交流接触器吸引线圈低电压释放及自动开关的失压脱扣器作为低电压保护。

(6) 漏电保护。防止人身触电或电动机定子绕组接地可装设漏电保护。漏电保护利用零序电流互感器来检测三相电流之和是否为零,当超过一定值时切断电动机的电源。(见漏电电流动作保护器)

(7) 定子绕组温度检测保护。这是一种直接防止定子绕组温度过高的保护,能同时对由于过负荷、断相、三相电流不平衡、电源频率变化、环境温度过高或电动机通风不良、过电压或低电压等引起的温度过高起到保护作用。常将正温度系数的热敏电阻元件埋入定子绕组,利用热敏电阻在动作温度附近阻值急剧变化的特性去驱动出口电路,切断电动机的电源。

大容量高压感应电动机保护 其保护措施有相间短路保护,单相接地保护,过负荷保护和低电压保护。

(1) 相间短路保护。2000 kW 以上的高压感应电动机相间短路保护采用差动保护装置来实现。其工作原理是靠比较定子绕组的流进电流和流出电流之差而动作。因而定子绕组应有六个出线端,用以装设差动保护装置所需的电流互感器。根据不同的灵敏度要求,可选择三相式或二相式的保护接线。2000 kW 以下的电动机常采用带速断-反时限的过电流继电器构成瞬时电流速断保护作为相间短路保护。

(2) 单相接地保护。采用零序电流互感器和与之连接的电流继电器构成。当单相接地时,流经零序电流互感器的三相电流之和不为零,当接地电流达到一定值时,电流继电器动作而切断电动机的电源。

(3) 过负荷保护。一般采用带反时限特性的过电流继电器。其时限特性应与电动机过负荷特性相近,并比电动机的稍低一些为好。这种保护采用的继电器没有累计过负荷的性能,不适用于重复短时运行的电动机。

(4) 低电压保护。为了防止电压回路发生某些故障时低电压保护装置不正确动作,可将两个电压继电器接于电压互感器的不同相上,其触点串联后控制时间继电器,延时切除电动机,一套低电压保护装置,可同时保护同一母线供电的多台电动机。如果必须具有两个延时(例如,为了保证自启动,一部分电动机整定为 0.5 s,另一部分电动机定为 10 s),可在接线中增加

一个时间继电器。

大容量高压同步电动机保护 同步电动机的保护措施与大容量高压感应电动机的类同。但根据同步电动机自身的特点,应增设失步保护,限制启动时间的保护,限制强励时间的保护,定子绕组测温装置。

(1) 失步保护。它包括失磁保护和励磁回路交流分量电流保护。在同步电动机励磁回路中,设置零励磁电流继电器构成失磁保护。当励磁电流小于一定数值时,继电器动作切断电动机的电源。励磁回路交流分量保护是在励磁回路内设置电流互感器,检测电动机失磁异步运行后在励磁回路中产生的交流分量,当出现交流分量时,继电器动作切断电动机的电源。

(2) 限制启动时间的保护。该保护主要用于降压启动的同步电动机,防止因未及时加全压和加励磁或负荷过重,延误牵入同步,使启动时间过长,造成启动绕组开焊。当启动时间超过规定值时,切断电动机的电源。

(3) 限制强励时间的保护。同步电动机常采用加大励磁电流,以增大其极限功率,防止因电网电压短时降低而失步,并为电网电压提供补偿,这种措施称强行励磁(简称强励)。强励应是短时间的,否则将造成励磁绕组过热,因而设置限制强励时间的保护。

(4) 定子绕组测温装置。在定子绕组的有关部位埋入热电偶,直接测量绕组温度。这种方法可实现过负荷保护和因通风不良或环境温度过高等引起绕组过热的保护。

(施传立 林广悦)

jiāoliú diāndòngjī jiàngyǎ qǐdòng

交流电动机降压启动 (reduced voltage starting of AC motor)

采用降低交流电动机定子绕组的电压进行启动的方法。降压启动时,利用某些降压设备或者改变定子绕组的连接方法降低电压。由于启动电流与启动时的电压成正比,所以降压启动能有效地减小启动电流。但感应电动机的电磁转矩与电压的平方成正比,因而电机的启动转矩随电压的平方减小,因此这种方法只适用于空载或轻载启动。当同步电动机异步启动时,也可采用降低定子绕组电压进行启动。

降压启动分为定子串电阻或电抗器启动,自耦变压器降压启动,星-三角换接启动和延边三角形启动。

定子回路串电阻或电抗器启动 电动机启动时,在三相定子绕组中串接电阻或电抗器,使加在电动机定子绕组上的电压低于电网电压,从而减小启动电流。图 1 示出了定子回路串电阻 R 启动的接线图。启动时断开 QC2,闭合 QC1,电网电压经电阻降低后加到电机定子绕组上,电机开始启动,待转速基本稳定后再闭

合 QC2，同时断开 QC1，电机加速到全压下的稳定转速，起动完毕。

设串入电阻(或电抗器)后的电压降低到额定值的 k 倍，则起动电流减少到直接起动时的 k 倍，起动转矩减小到直接起动时的 k^2 倍。

这种方法具有起动平稳、可靠等优点。由于采用串电阻起动时，电阻上要消耗较多的电能，因而串电阻起动用于不经常起动的小型电机上。大、中型笼型感应电动机和同步电动机，常采用串电抗器降压起动。同步电动机降压起动时励磁绕组接线及操作与直接起动时相同(见交流电动机直接起动)，所需的电阻或电抗值应根据要求限制的起动电流及生产机械对起动转矩的要求计算确定。

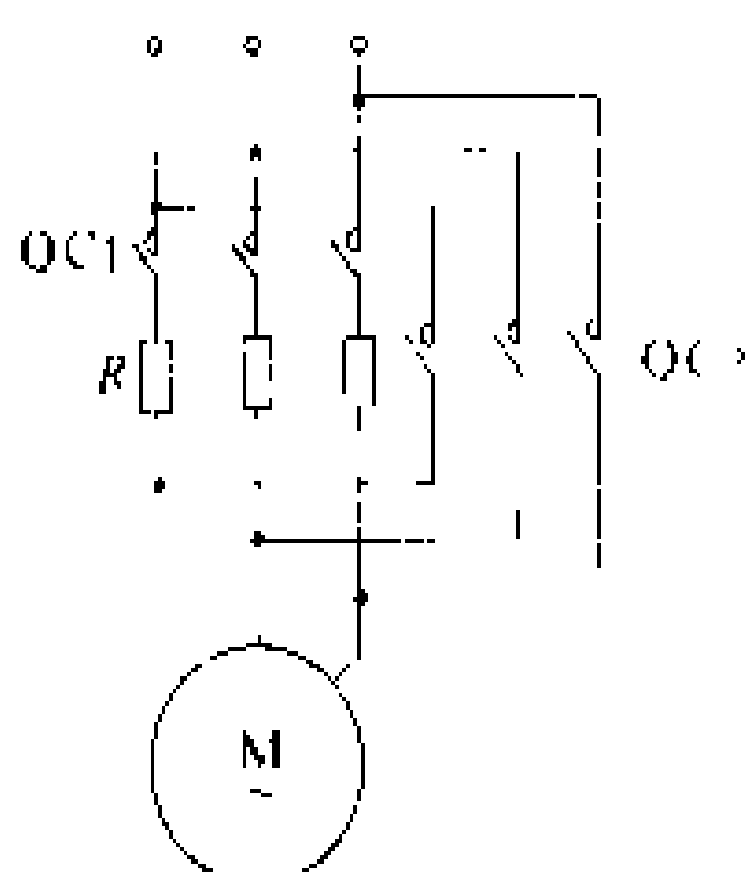


图1 定子串电阻
起动接线图

矩来选择合适的抽头。它适用于容量较大的笼型感应电动机和同步电动机的降压异步起动。其缺点是起动设备费用较高。

星-三角换接起动 起动时把交流电动机的定子绕组接成星形，运行时接成三角形。这种起动方法只适用于正常运行时定子绕组接成三角形的电动机。其定子绕组接线图如图3所示。起动时将 QC1、QC3 闭合，定子绕组接成星形。起动时，定子每相绕组所加电压为电网电压的

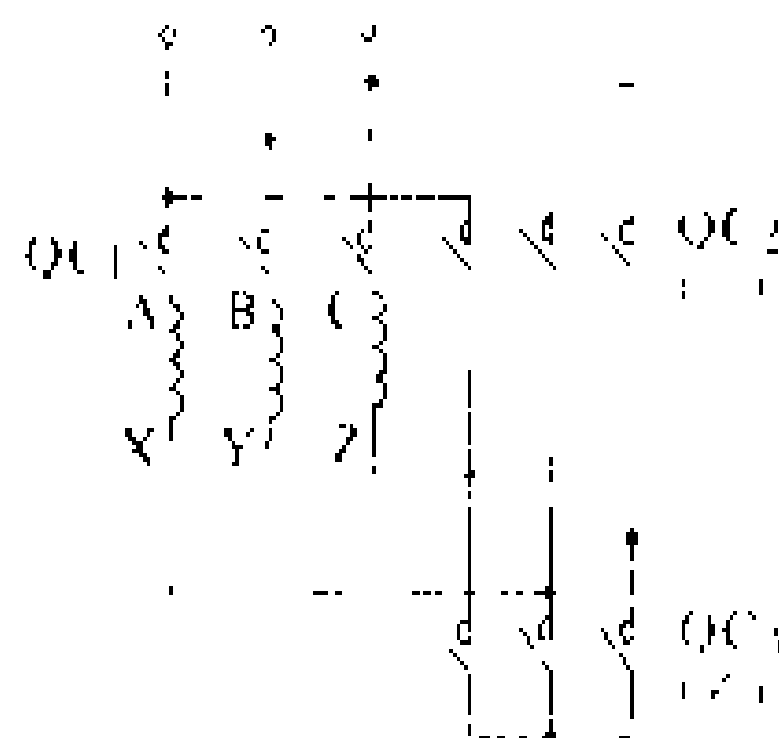


图3 星-三角换接
起动接线图

$1/\sqrt{3}$ 倍，待转速基本稳定后，断开 QC3，同时闭合 QC2，定子绕组接成三角形，电机在全压下运行。

由于相绕组电压的降低，星形接法时相绕组的起动电流则为三角形接法时相绕组起动电流的 $1/\sqrt{3}$ 倍，因而星形接法时电网起动电流(线电流即相电流)为三角形接法时电网起动电流(线电流为相电流的 $\sqrt{3}$ 倍)的 $1/3$ ，即电源供给的起动电流仅为三角形接法直接起动时的 $1/3$ 。由于起动转矩与相电压的平方成正比，因而星形连接时的起动转矩也减小到三角形连接时的 $1/3$ 。

星-三角换接起动操作方便，起动设备简单，还可频繁起动，小容量笼型感应电动机常采用这种起动方法。为便于采用星-三角换接起动，4 kW 以下的小型笼型感应电动机，定子绕组均设计成三角形接法。

延边三角形起动 起动时把定子绕组的一部分接成三角形，剩下的一部分接成星形，如图4(a)所示。以图形上看，它是一个三角形三条边的延长，因此称为延边三角形。当电机转速基本稳定后，再把绕组换接成三角形接法，如图4(b)所示。

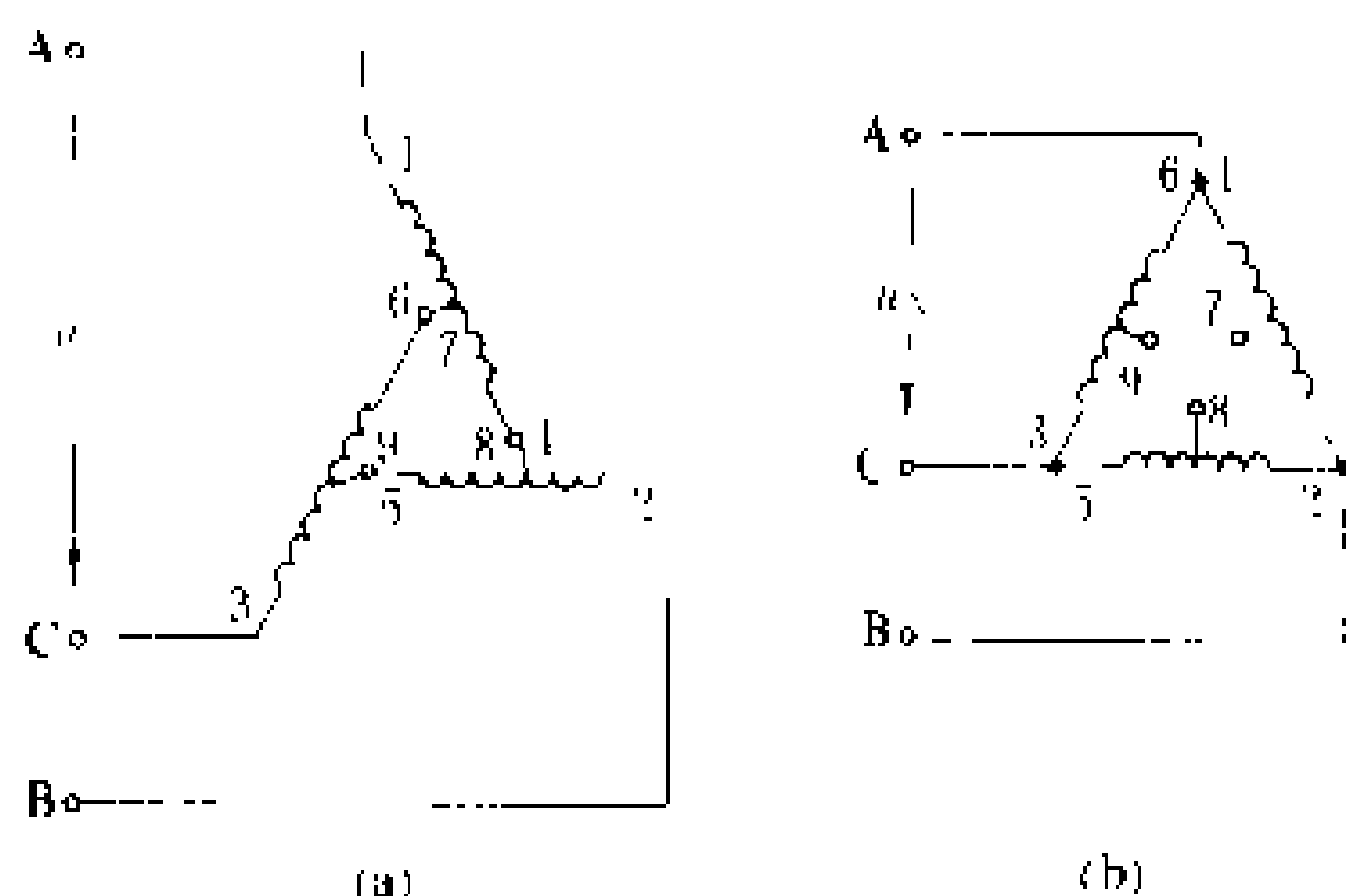


图4 延边三角形起动接线图

(a) 起动时的接线；(b) 稳定时的接线

延边三角形接法实质上是把星形接法和三角形接法结合在一起，因此它的每相绕组所承受的电压小于

自耦变压器降压起动 利用自耦变压器降低交流电动机电压进行起动，这种方法又称补偿起动法。起动用的自耦变压器 AT 又称起动补偿器，其接线图如图2所示。起动时断开 QC1，闭合 QC2、QC3，电网电压经自耦变压器降低后加在电机定子绕组上，待转速基本稳定后，断开 QC3，然后依次闭合 QC1，断开 QC2，电机加速到全压下的稳定转速，起动完毕。

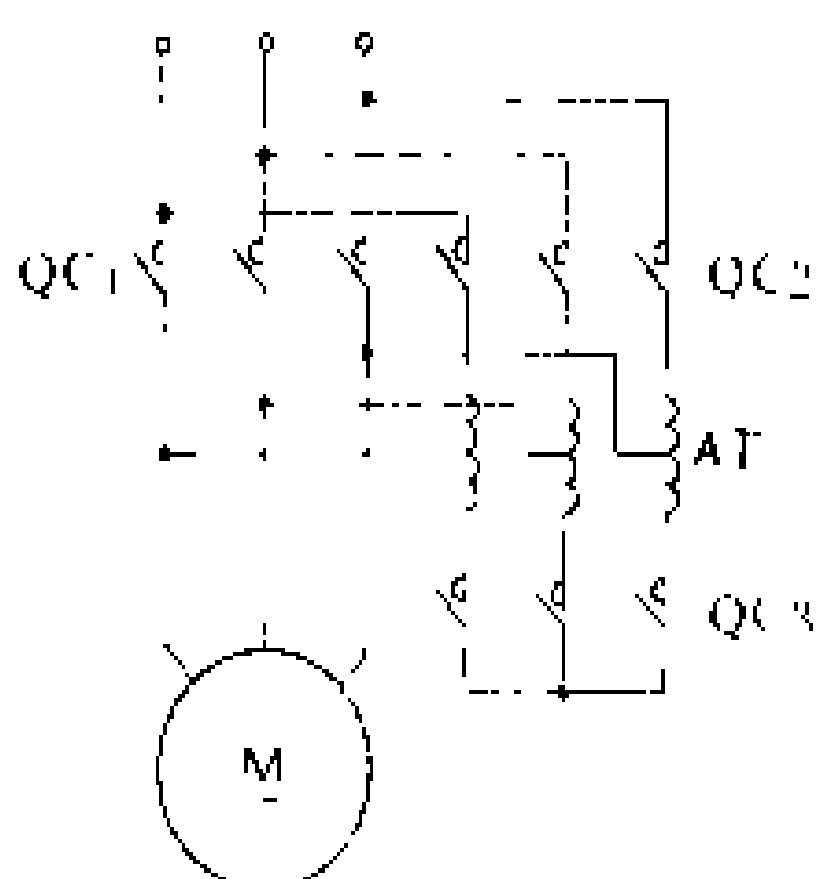


图2 自耦变压器
降压起动接线图

设自耦变压器二次电压与一次电压之比为 k_A ($k_A < 1$)，则进入电动机的起动电流为直接起动时的 k_A 倍。自耦变压器一次电流又是二次电流的 k_A 倍，所以电网供给的起动电流为直接起动时的 k_A^2 倍。由于电磁转矩和电压的平方成正比，自耦变压器起动时的起动转矩为直接起动时的 k_A^2 倍。

自耦变压器二次侧常有 2~3 个抽头，可提供几个二次电压。例如 QJ3 型自耦变压器有电源电压的 40%、60%、80% 三种抽头，抽头的选择由允许的起动电流和所需的起动转矩来决定。自耦变压器不允许频繁起动或长期停留在起动位置，其容量的选择与电动机容量、起动时间及连续起动次数有关。

这种起动方法的优点是不受电动机绕组接线方式的限制，而且可以按容许的起动电流和所需的起动转



三角形接法时的电压,大于星形接法时的相电压,而介于二者之间,其大小决定于相绕组中星形部分的匝数和三角形部分的匝数比。三角形部分匝数愈少,星形部分匝数愈多,愈接近于星-三角换接起动;反之,愈接近于直接起动。

延边三角形起动虽起动电流比星-三角换接起动时大,但起动转矩比星-三角换接起动时也大,而且可以选择不同的两部分绕组的匝数比,以满足起动电流和起动转矩的要求,同时可以进行频繁起动。该起动方法的缺点是定子绕组必须有9个出线头。

(叶 东)

jiāoliú diāndòngjī pínmin biānzúqǐ qǐdòng

交流电动机频敏变阻器起动 (starting of AC motor by frequency - sensitive rheostat)

在绕线转子感应电动机转子回路串入频敏变阻器进行起动的方法。频敏变阻器起动是一种无触点变阻器起动,它能自动、无级地减小电阻,避免了转子回路串电阻逐级切除时的电流冲击和转矩冲击,而且大大简化了控制系统。频敏变阻器起动结构简单,运行可靠,使用和维护方便,因此应用日益广泛。但与转子回路串电阻起动方法相比,由于频敏变阻器具有一定的电抗,在同样起动电流下,起动转矩要小些。

频敏变阻器是一个三相铁芯线圈,它的铁芯用厚30~50 mm的几片或十几片钢板叠成,三个铁芯柱上绕有匝数较少的三相绕组,并接成星形,其结构和等效电路如图1所示。等效电路图中的 x 为一相绕组的电抗; r 为一相绕组的电阻,由于匝数少, r 的数值不大; r_m 是反映铁芯损耗的等效电阻,由于涡流损耗与频率的平方成正比,因此铁耗等效电阻 r_m 的值随频率的增加而增大。

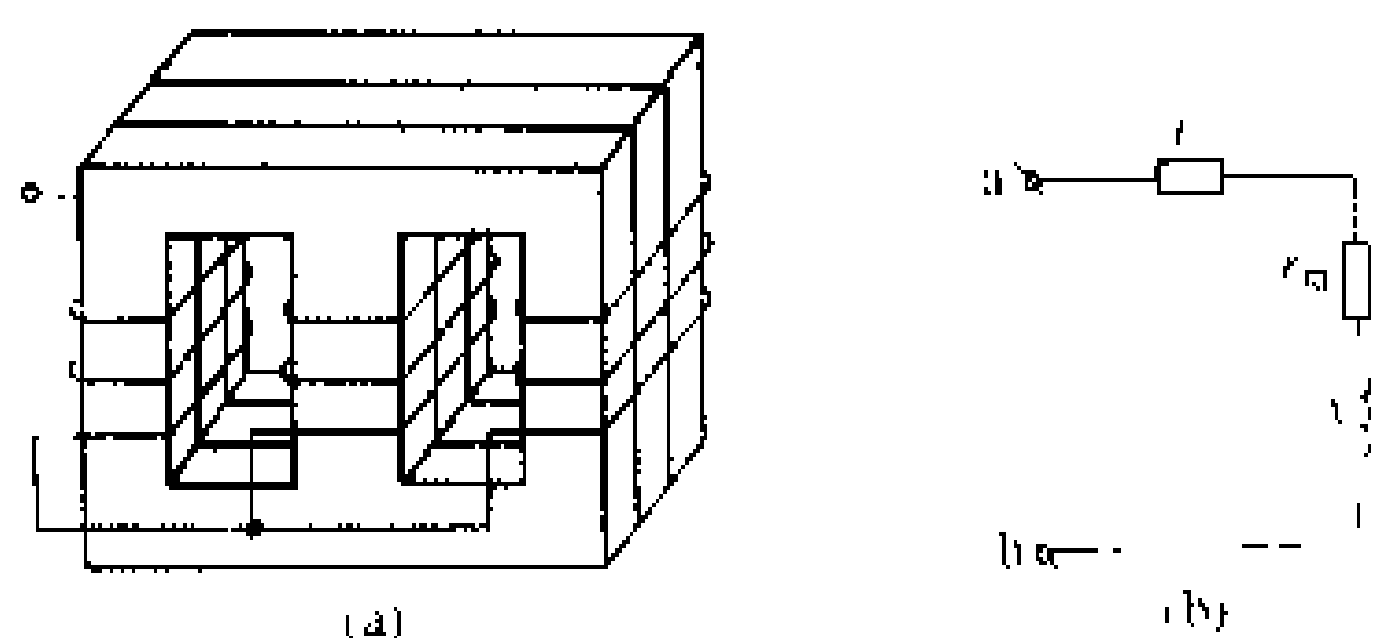


图1 频敏变阻器

(a) 结构示意图;(b) 等效电路

串频敏变阻器起动的接线图如图2所示。起动初始阶段,由于转子电流频率较高,频敏变阻器的阻抗(主要是铁耗等效电阻)较大,因而限制了起动电流,同时也增大了起动转矩。随着转子转速的升高,转子电流频率逐渐降低,频敏变阻器铁耗的等效电阻 r_m 也随之减小,这就相当于在起动过程中逐渐减少转子回路的电阻。起动过程结束后,转子电流频率很低(1~3

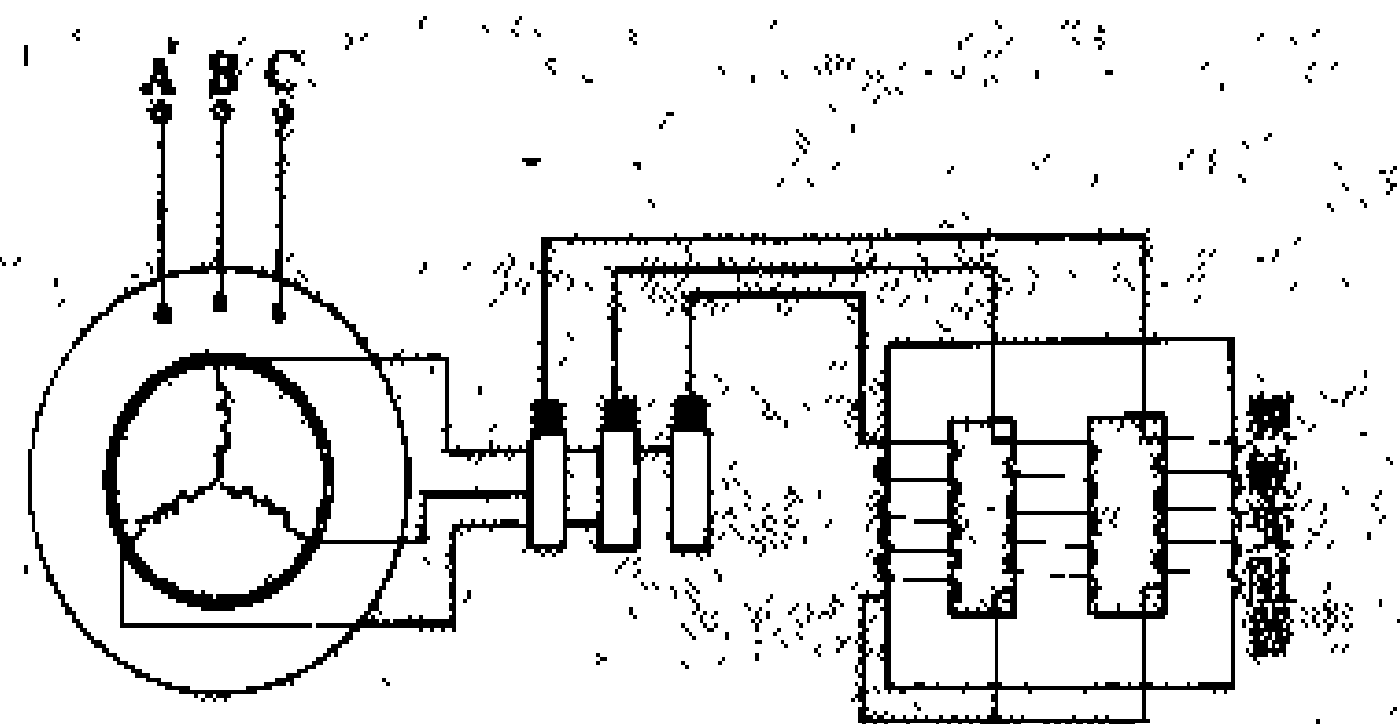


图2 串频敏变阻器起动接线图

Hz),频敏变阻器的阻抗很小,此时可将它切除,并把转子绕组直接短路。

设计频敏变阻器时,适当地选择反映铁芯损耗的等效电阻和铁芯线圈的电抗值,就可以得到在起动过程中的转矩基本不随转速变化,使加速转矩较大,从而缩短起动时间。对于容量较大的电动机,还可由多台频敏变阻器作串、并联组合使用。在选用频敏电阻器时,应注意有不经常起动等轻载型、重轻载型、重载型及断续起动的不同类型并加以区别。

(叶 东)

jiāoliú diāndòngjī qǐdòng

交流电动机起动 (starting of AC motor)

利用起动设备将交流电动机投入运行的方法。起动时,将交流电动机通过起动设备接到交流电源上,使电动机的转子从静止状态加速到稳定转速,并以此转速正常运行。

基本原理 电机在起动过程中,最关键的问题是起动转矩和起动电流。前者关系到起动的可能与时间,后者关系到电网和电机的承受能力。

(1)起动转矩。起动过程中,作用在电机转轴上有三种转矩。第一种是电磁转矩 M_M ,它是由电动机产生的驱动转矩,起动初始瞬间的电磁转矩称为最初起动转矩,简称起动转矩;第二种是由负载和损耗产生的制动转矩 M_Z ;第三种是机组在加速时产生的惯性转矩 M_J 。要使电动机转速从零不断上升,必须有一个大于零的加速转矩以克服惯性转矩。这个加速转矩即为 M_M 与 M_Z 之差。因此整个起动过程中,转矩平衡关系为

$$M_M - M_Z = M_J = J \frac{d\Omega}{dt}$$

式中 J 为机组的转动惯量; Ω 为机组的机械角速度。从上式看出,为了让电动机能顺利地加速到正常运行转速,最初起动转矩应大于电动机转子静止时的总制动转矩;同时在整个起动过程中,还必须要求电磁转矩大于制动转矩,才能使 $\frac{d\Omega}{dt} > 0$ 。在相同的转动惯量下,加速转矩($M_M - M_Z$)越大,加速越快,起动时间越短。加速过程中, $M_M - M_Z = 0$ 时, $\frac{d\Omega}{dt} = 0$,电机起动完毕。



进入稳定运行状态。

(2) 起动电流。当交流电动机接通电源，电的瞬间过程结束，但电机尚未转动时的电流，称为最初起动电流，一般简称为起动电流。由于起动瞬间，旋转磁场以同步速度切割转子回路，在回路中所产生的感应电流很大，引起与它平衡的定子电流的负载分量也跟着急剧增加，以致定子电流也很大。过大的起动电流一方面使供电线路产生较大的线路压降，影响接在同一线路上的其他电机和电气设备的正常运行。另一方面，使电机本身受到较大电磁力的冲击，从而有可能危及绕组端部绝缘。如果频繁起动，还有使绕组过热的危险。

起动要求 为了安全、可靠、经济地起动交流电动机，对起动有如下要求。

(1) 应该有足够大的最初起动转矩，并且电动机的机械特性与负载机械特性配合恰当，使之有足够大的加速转矩。在各类交流电动机技术条件规定中，最初起动转矩与额定转矩之比、起动过程中的最小转矩与额定转矩之比等指标都作了明确的规定。

(2) 起动电流应尽可能小，以不致影响同一线路上其他电机和电气设备的正常运行。

(3) 起动过程中的功率损耗应尽可能小。

(4) 起动设备简单、可靠，操作方便。

上述四方面的要求往往彼此相互制约，在不同的使用场合，要求的侧重面有所不同，应根据不同的要求合理选择电动机及其起动方法。

分频繁，电动机每小时合闸次数可高达数百次。在这种情况下，如果采用笼型感应电动机拖动，则在起、制动过程中，其电流比额定电流大得多，造成电动机严重发热。因此，应当进行发热校验，或从发热考虑求得允许的每小时合闸次数。

起动方法 有交流电动机直接起动，交流电动机降压起动，交流电动机转子串电阻起动，交流电动机频敏变阻器起动，交流电动机准同步起动和交流电动机变频起动。各种起动方法适用的电动机类别及主要性能和特点见表。

(叶 东)

jiaoliu diandongji shiliang kongzhi

交流电动机矢量控制 (transvector control of AC motor) 借助于矢量控制实现交流电动机调速的技术。这种调速原理是德国西门子公司 (Siemens) 的 F. 布拉斯克 (F. Blaschke) 于 1971 年提出的。利用矢量控制能使交流电动机的调速性能和直流电动机一样，因此，交流电动机矢量控制已成为理想的高性能交流电动机的调速方法。

基本原理 调速的关键是控制转矩。直流电动机的转矩与磁通及电枢电流的乘积成比例 (见直流电动机调速)，磁通矢量与电枢电流矢量互成直角坐标关系，为两个互不相关的独立变量，且磁通正比于直流励磁电流 (忽略磁路饱和)，因而电枢电流和励磁电流可

看成是正交的或解耦的矢量，可方便地分别调节电枢电流和励磁电流，从而进行转矩、转速的控制，这就是直流电动机调速性能优越的根本原因。感应电动机中没有独立可控的励磁电流，但其定子三相交流电流所产生的定子合成磁通势矢量，与转子电流所产生的磁通矢量是以同步速度旋转的。如果从同步速度旋转的坐标系来看，转子磁通矢量可以认为是由转子直流矢量所产生，定子磁通势矢量为定子直流矢量所产生。可进一步将定子直流矢量分解成两个分量：一个分量与转子直流或转子磁通同方向 (称励磁电

流分量)，另一个分量与其垂直 (称转矩电流分量)，即两分量也互相垂直，成为正交或解耦的矢量，与直流电

各种起动方法适用的电动机类别及主要性能和特点

起动方法	适用电动机	主要性能及特点
直接起动	笼型感应电动机 同步电动机	起动电流大，设备简单，操作方便 适用于供电电源和电动机允许的条件下
降压起动	笼型感应电动机 同步电动机	起动电流随电压成正比下降，起动转矩随电压的平方下降 适用于空载或轻载起动
转子串电阻起动	绕线转子感应电动机	起动电流小，起动转矩大，控制较复杂 适用于带负载起动
频敏变阻器起动	绕线转子感应电动机	为无触点变阻器起动。起动平稳，在相同起动电流下，比转子串电阻起动的起动转矩要小一些 适用于带负载起动
准同步起动	同步电动机	起动电流小，无电流和转矩冲击，必须有直流电动机拖动 适用于空载起动
变频起动	同步电动机	起动电流小，无电流和转矩冲击。必须有变频电源，励磁机必须非同轴连接

在某些生产机械 (例如轧钢车间的辅助机械) 的拖动系统中，电动机起动、制动 (见交流电动机制动) 十

须应用矢量变换的方法, 这种控制称为矢量变换控制。这种矢量变换通常是将静止的三相系统(定子 ABC 系统)首先变换为静止的两相坐标系(称 $\alpha\beta$ 测量值坐标系)中的量, 再将静止两相坐标系中的量变换为同步速度旋转的互相垂直的坐标系(称 1 ± 2 或 $M\pm T$ 坐标系)中进行反馈控制, 然后再将控制量进行反变换为三相系统进行

同步电动机的矢量变换控制原理与感应电动机相似,不同的是选择气隙合成磁通矢量 $\vec{\Phi}_m$ 作为磁场定向坐标系M轴的方向。先将电枢电流由静止的三相系统变换为静止两相系统,再变换为同步旋转的M-T坐标系统,同样得到与气隙合成磁通同方向的励磁电流分量和与其垂直的转矩电流分量,它们都是直流量,可以和直流电机一样灵活地进行转矩控制。其磁场定向坐标与其他坐标的关系如图1(b)所示。

控制系统 下面分别介绍感应电动机及同步电动机的矢量变换控制系统。

感应电动机的矢量控制系统包括磁通检测式矢量控制系统及转差频率式矢量控制系统。

(1) 磁通检测式矢量控制系统。其逆变器可以是电

压型逆变器,也可以是电流型逆变器。磁通检测可以是直接法,也可以是间接法。图2为磁通检测式感应电机矢量控制系统框图。图中磁通检测系利用间接法,通过所测得的定子电流和电压,由磁通观测器完成运算。速度给定信号 ω^* 与实际电机速度 ω 相比较。速度调节器ST输出为转矩电流分量给定值。函数发生器满足恒磁通(基频以下)和弱磁通运行方式所要求的函数关系,给出磁链给定信号 ψ_1^* ,并与磁通运算回路算得的实际转子磁链 ψ_2 比较,差值信号经磁通调节器 ΦT 作用,给出励磁电流分量给定值 i_{M1}^* 。 i_{T1}^* 与 i_{M1}^* 经直角坐标-极坐标变换(K/P),给出了定子电流大小给定值和相对于同步旋转坐标系M轴的位置角给定角 ϵ^* , $|i_1^*|$ 与 $|i_1|$ 相比较后的误差信号控制电流调节器LT,从而控制可控整流桥输出电压。定子电流检测后经过 $3\Phi/2\Phi$ 变换及P/K(极坐标-直角坐标)变换,除得到实际定子电流幅值 $|i_1|$ 外,还得到定子电流矢量相对于静止 α 轴线的空间位置角 θ_1 ,与K/P(直角坐标-极坐标)变换的输出 θ 角一起经过矢量旋转变换器VR,可求得定子电流相对于转子磁通M轴的角度 ϵ ,将所得 ϵ 角与给定值 ϵ^* 比较,通过另一个VR变换求得两者之差 $\Delta\epsilon$,再经过角度调节器JT和电压频率变换器 U/f ,变为频率信号控制逆变器的频率,从而实现电动机速度的控制。

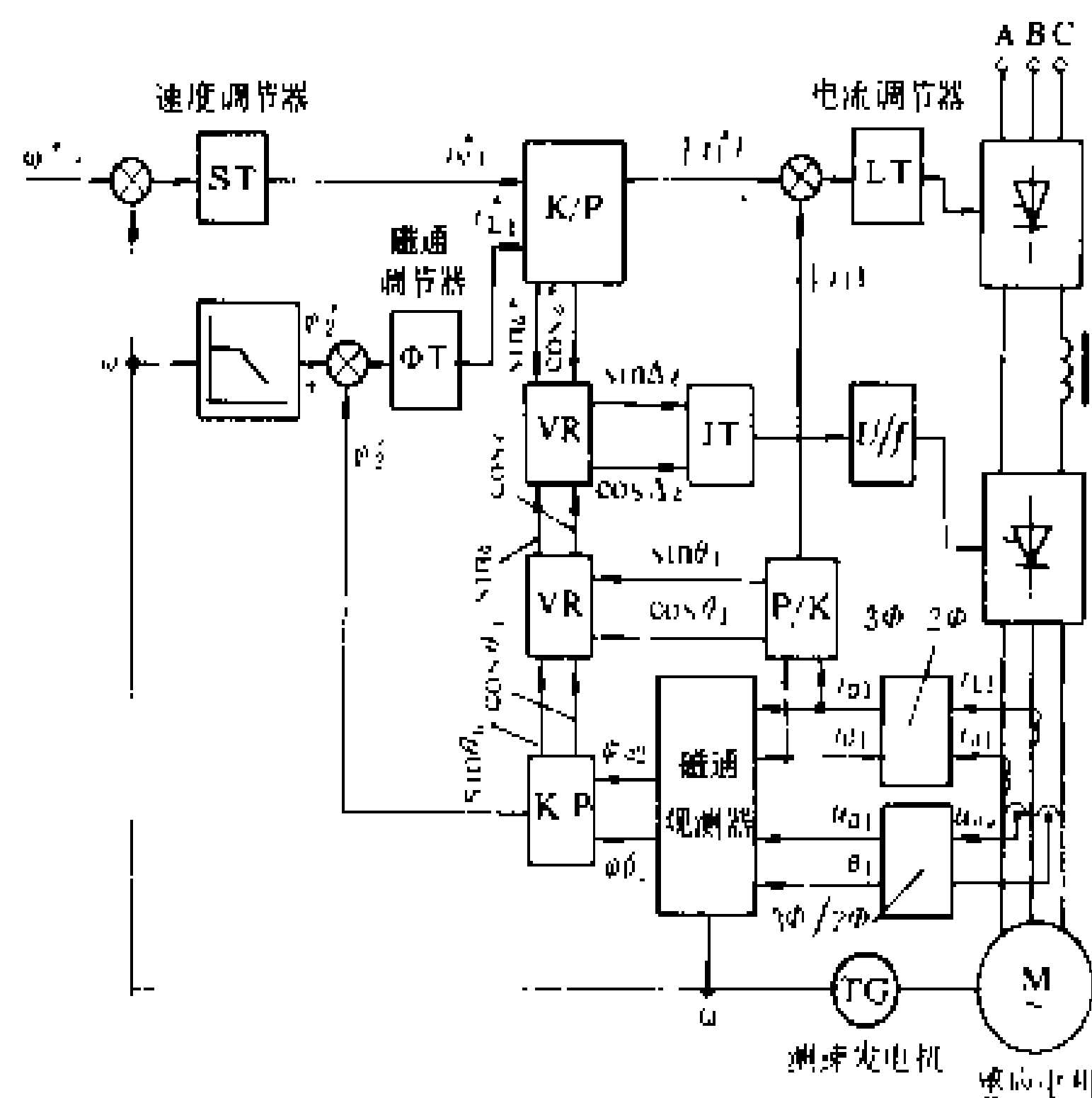


图 2 磁通检测式感应电动机矢量控制系统

(2)转差频率式控制系统。图3为一种转差频率式电流源逆变器-感应电动机矢量变换控制系统的框图。转子磁通矢量的位置,是通过转差角频率 ω_s 和转子实际旋转角频率 ω 相加,再经过积分得到转子磁通矢量相对于静止 α 轴间的空间位置角 θ_0 。转子磁链给定值 ψ_s^* 是根据转速给定值 ω^* 由保证恒转矩、恒功率运行方式的函数发生器给出。速度调节器ST输出转矩给定值 M^* ,转矩电流分量给定值 i_m^* 、励磁电流分量给

定值 i_{L1}^* 及转差频率 ω_s 均经过运算而得, i_{r1}^* 、 i_{m1}^* 经 K/P 变换后给出定子电流幅值给定值 $|i_1^*|$, 同时给出矢量 \vec{i}_1^* 相对于转子磁通矢量的位置角给定值 ϵ^* 。 $|i_1^*|$ 与实际定子电流幅值 $|i_1|$ 相比较, 经电流调节器 BA 作用控制整流桥输出电压。定子电流经 $3\Phi/2\Phi$ 变换和 VR 变换后, 得到 i_{M1} 、 i_{L1} 实际值, 再经过 K/P 变换后得到实际定子电流矢量相对于转子磁通矢量的空间位置角 ϵ , 与 ϵ^* 比较后的差值 $\Delta\epsilon$ 经过角度调节器 BJ 对给定值进行修正, 再加上转子磁通矢量的位置角 θ_0 , 即获得定子电流矢量的位置角 θ_1 , 以此控制触发脉冲, 从而调节逆变器输出频率, 改变电动机的转速。

助于转子位置检测器、磁极位置运算器、磁通运算器得到气隙合成磁通 M 轴相对于静止 α 轴的位置角 θ_0 及相对于同步转速旋转坐标系 d 轴的位置角 θ 。速度给定值 ω^* 与实测转子速度 ω 相比较, 其误差信号控制速度调节器 ST, 得出转矩给定值, 经过除以有效磁通 $|\Phi_m|$ 的运算, 得到转矩电流分量给定值 i_{L1}^* 。为保证恒转矩、恒功率运行的函数发生器给出有效磁通给定值 Φ_m^* , 磁通调节器根据磁通给定值和实际值输出励磁电流分量给定值 i_r^* , 电流给定值运算器进行反变换运算, 算出静止 abc 系统中的电流给定值 i_a^* 、 i_b^* 、 i_c^* 及转子励磁电流给定值 i_r^* , 各自与实际值比较后, 经过

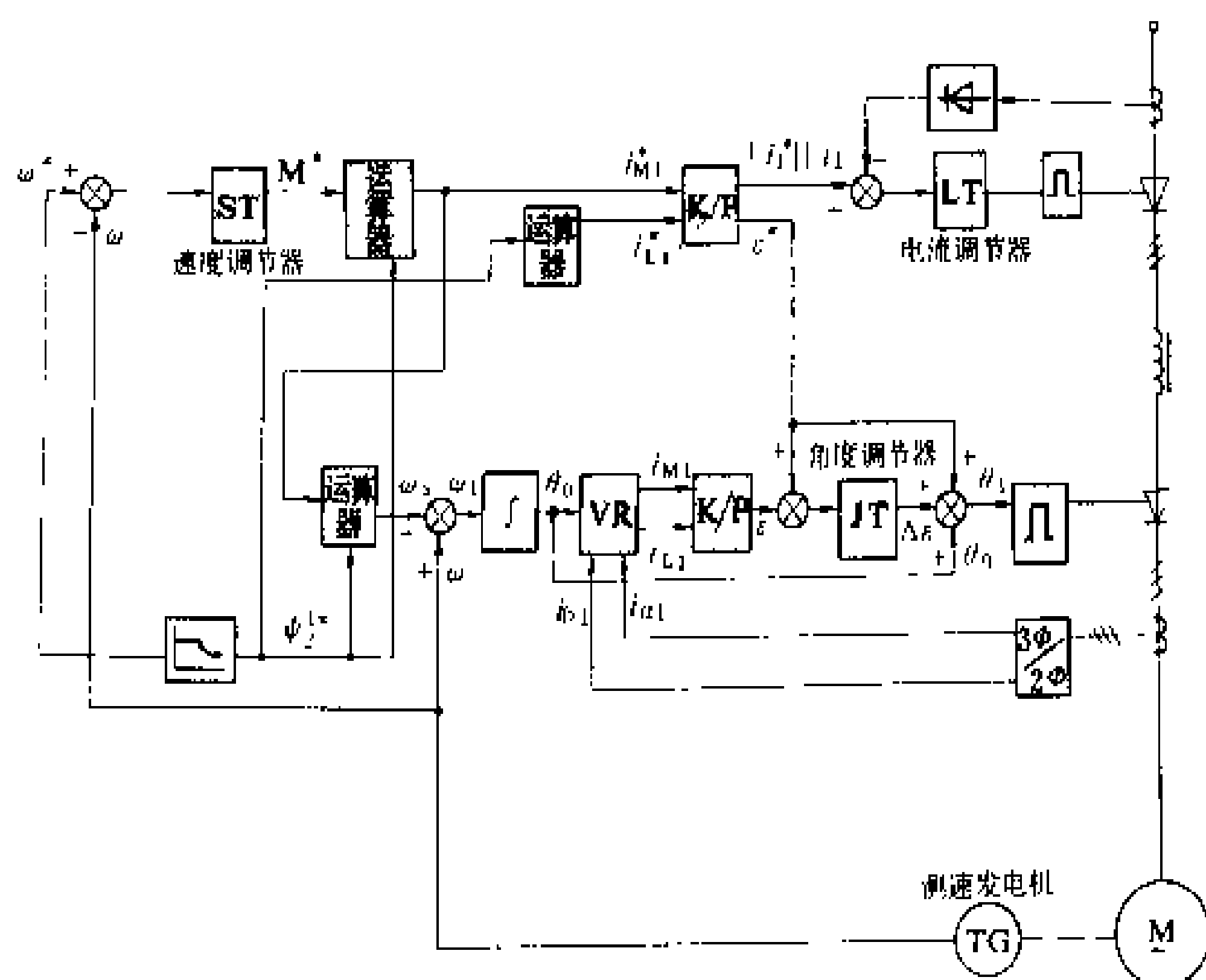


图3 转差频率控制式感应电机矢量控制系统

同步电动机矢量控制系统如图4所示。其中同步电动机定子绕组由交流-交流变频器供电, 转子励磁绕组由可控整流器供电。气隙合成磁通方向的确定, 系借

通形式, 就可以得到直流电动机里的多种运行特性: 恒磁通、弱磁及串励特性。特别是具有高运算性能的微机组作为解算工具, 采用数控或触发替代传统的模拟式调

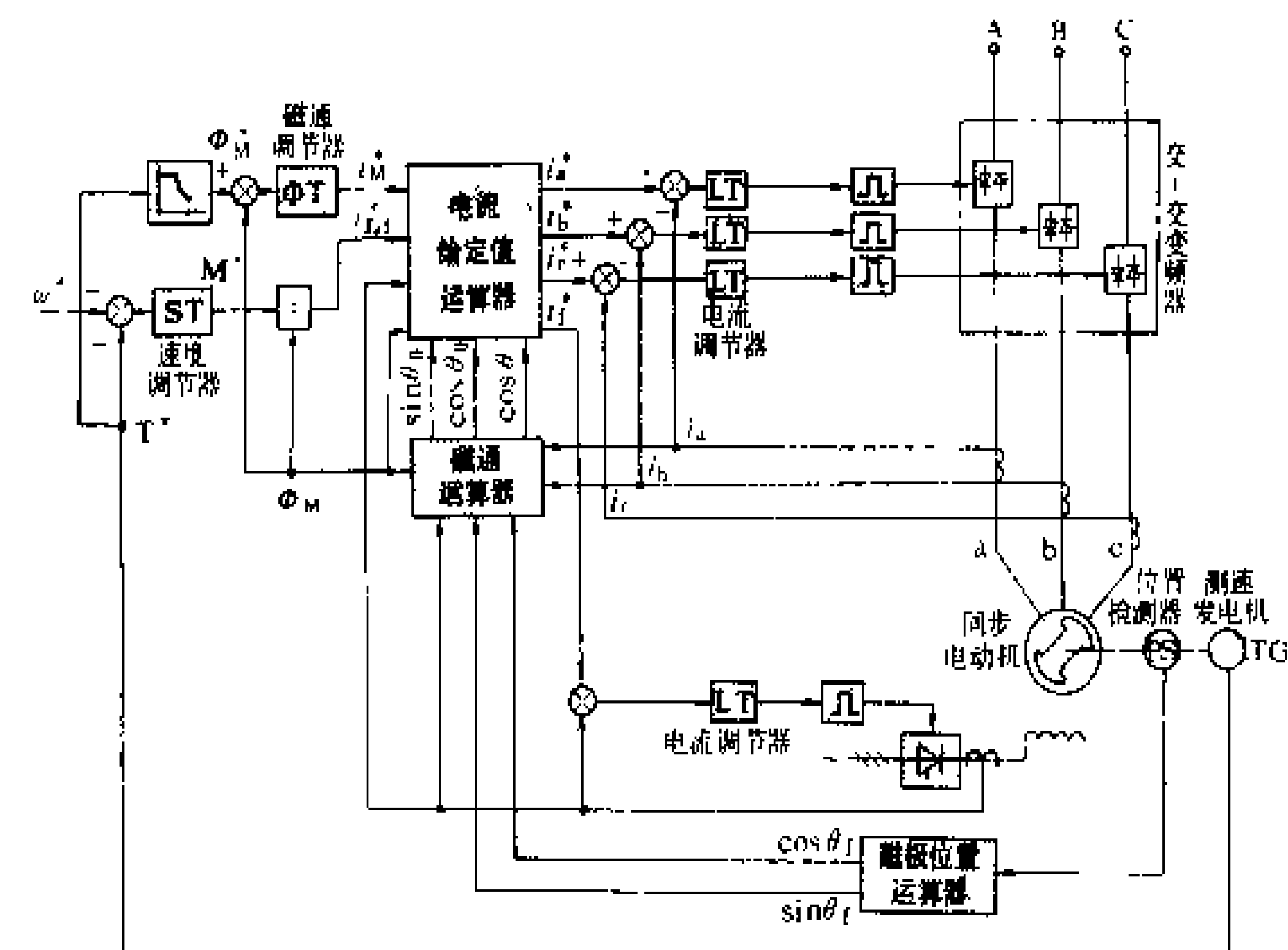


图4 同步电动机矢量变换控制系统

相应的电流调节器 LT, 控制变频器的输出电压和频率及励磁绕组的励磁电压, 从而调节同步电动机的转速和相应地控制其励磁电流。

应用 采用矢量控制, 可使感应电动机实现与直流电动机相同的、响应性能优良的控制。即使对几百千瓦的感应电动机, 仍可达到阶跃响应为十几毫秒, 角频率在 200 rad/s 左右, 甚至超过了直流电动机性能。同样可以弱磁调速, 扩大调速范围。如果转子磁通检测准确, 不会出现不稳定现象。又由于感应电动机结构简单、坚固、又无电刷, 适用于有爆炸性、腐蚀性气体或高温等恶劣环境; 维护简单方便; 不存在直流电机容量受换向限制的问题; 能承受冲击性负载等。只要在控制电路内更改转子磁

通形式, 就可以得到直流电动机里的多种运行特性: 恒磁通、弱磁及串励特性。特别是具有高运算性能的微机组作为解算工具, 采用数控或触发替代传统的模拟式调节或触发, 构成单微机控制或多微机控制的调速系统, 不仅提高了运算的精度, 而且还提高了调节器或触发器的精度, 免受电源电压和温度的影响, 使复杂的交流电动机矢量控制系统得以实现。因此, 交流电动机的矢量控制已得到了广泛的应用, 尤其是感应电动机的调速。如机床所用的伺服电动机, 需要有微米级高精度定位控制, 要求定位控制的角速度有 100 rad/s 以上的响应速度, 电动机容量一般为几千瓦; 研光机生产线潮气大, 有腐蚀性气体, 环境条件恶劣, 调速精度又要求高达 0.02%, 电动机容量从几十千瓦至几百千瓦; 轧钢设备中的钢板卷取机, 要求宽速范围恒张力控制, 弱磁或微动运行, 停止状态下保持力矩

存在,转矩脉动小;主轧机驱动系统,性能上要求能快速反转,大范围调速,大的过载能力和冲击负载等。以上这些场合都可应用矢量控制方法满足高性能的调速要求,其中有些场合以前一直采用直流电动机调速,现在已逐渐由感应电动机的矢量控制调速所代替。同步电动机的矢量控制调速,如应用于压延机主压辊的电动机调速等,可获得比感应电动机高的功率因数。

参考书目

符曦,感应电动机的矢量控制及应用,北京:机械工业出版社,1986

[日]上山直彦编著,现代交流调速,吴铁坚译,北京:水利电力出版社,1989

(施传立)

jiāoliú diàndòngjī tiáosù

交流电动机调速 (speed control of AC motor)

通过改变交流电动机的供电频率、极对数和转差率等电气参量,来实现速度调节的技术,又称交流调速。在实际应用中,交流电动机总是与生产机械相联系,形成电力拖动系统。不同的生产机械要求不同的速度,即使同一个生产机械在不同的运行工况下,也需要不同的速度,因而需要对拖动系统的运行速度加以调节,即产生了交流电动机调速。

交流电动机,尤其是笼型感应电动机,由于没有机械换向装置,结构简单、运行可靠、维护方便、造价低廉,且有良好的节能效果,在单机容量和速度极限等方面都比直流电动机高;特别是在灰尘多、有爆炸危险的恶劣环境里,交流电动机更为适用。但交流电动机的调速性能不如直流电动机好,在很长一段时间内,交流电动机只能作恒速运行。解决交流电动机的调速问题,一直是电力拖动工作者所关注的研究课题。

发展简史 早在20世纪30年代,不少学者就提出了各种交流调速系统,企图改善交流电动机的调速性能。40年代初出现了无换向器电动机的试验装置。40年代中期,以汞弧整流器作为变流元件的串级调速装置投入运行。50年代,用闸流管组成的三相逆变器供电的感应电动机调速系统在试验室中进行了试验。50年代后期,晶闸管问世。60年代初,在静止逆变器上应用了强迫换流技术,出现了有实用价值的、高效率的变压、变频电源装置。直到60年代,才基本上解决了交流调速传动在工业中应用的关键技术问题。60年代末,德国的A.舍龙(A. Schonung)等又将通信系统的调制技术应用于交流电动机调速中,采用了脉冲宽度调制实现变频调速,基本上克服了方波型变频器输出中谐波分量较大的缺点。近20多年来,由于半导体技术的飞速发展,相继出现的可关断晶闸管、光控晶

闸管、大功率晶体管、功率MOS器件、绝缘栅双极性晶体管等新型元件得到了应用,控制单元和系统也从分立元件向着大规模集成电路微型化、轻量化发展,从而使交流电动机调速装置的可靠性和经济性不断提高。70年代初,德国西门子公司(Siemens)的F.布拉斯克(F. Blaschke)又提出了一新的控制方法和理论——矢量变换控制,使交流电动机的调速性能有可能与直流电动机的调速性能相媲美。特别是交流电动机调速采用了以微型计算机、微处理器为核心的新一代控制系统和单元后,具有了监视、保护、诊断及自复原等多种功能,从而得到广泛应用。除要求调速的交流传动采用交流电动机调速外,原有大量恒速运行的交流传动如风机、水泵等设备,从节约能源的观点,也大量采用了交流调速传动;从前采用直流调速的轧钢、造纸、提升机械、数控机床、工业机器人中的伺服系统等,也可由交流调速所代替。

基本原理和分类 交流电动机的同步转速 n_1 和电机的供电电源频率 f_1 、极对数 p 之间有着严格的关系

$$n_1 = \frac{60f_1}{p}$$

同步电动机的转子转速即上述同步转速,可以采用改变供电电源频率 f_1 或磁极对数 p 的方法实现调节。

感应电动机的转子转速 n 与同步转速 n_1 存在有转差率 s 的差别,其转速为

$$n = n_1 (1 - s)$$

由此可见,感应电动机可以采用改变供电电源频率、磁极对数、转差率的方法实现调速。

综上所述,交流电动机调速可分为调节频率调速、调节极对数调速和调节转差率调速三大类。

调节方法 交流电动机的速度调节方法有:变频调速,无换向器电机调速,调节定子电压调速,转子串电阻交流调速,电磁转差离合器调速,交流串级调速,交流变极调速等。各种调速方法的所属类别、适应的电动机类别、主要性能及特点见表。

技术特点 与直流电动机调速相比,交流电动机调速的构成形式要多得多。拖动用电动机有笼型和绕线转子感应电动机,也有用同步电动机和无换向电动机。调节交流电动机速度的方法,有变频、变极对数及改变转差率等多种方法。且交流电动机调速会遇到许多复杂情况,其中最主要的是:①交流电动机的转矩是定子和转子多个变量的函数,而不像直流电动机的转矩只取决于电枢电流与气隙磁通的乘积;②交流电动机的定子和转子磁通势有密切的相互作用,当速度变化时,这两个磁通势的相互作用又发生连续变化。因



此，交流电动机调速要比直流电动机调速困难和复杂得多，它要用到更多的受控量。

常用交流电动机调速方法比较

类别	调速方法	适 用 的 电动机类别	主要性能及特点
调 节 频 率	变频调速 (独立控制式)	同步机、感应机 (一般为笼型)	无级调速、恒转矩、效率较高、调速范围大
	无换向器电动机调速 (自控式变频)	同步机 (特殊结构)	无级调速、恒转矩、效率较高、调速范围较大
调 节 极 对 数	变极调速	可变极的感应电动机及同步电动机	有级调速、简单、恒转矩或恒功率
调 节 转 差 率	调节定子电压 (调压调速)	感应电动机 (一般为绕线转子型,小容量可用特殊笼型)	无级调速、恒转矩、效率低、调速范围不大
	转子串电阻调速	绕线转子感应电动机	有级调速、简单、特性软、效率低、轻载时调速范围很小
	电磁转差离合器调速	感应电动机和电磁转差离合器	无级调速、恒转矩、无制动转矩、效率低、轻载时难以调速
	串级调速	绕线转子感应电动机	无级调速、恒转矩、效率较高、次同步串级调速范围小,超同步串级调速范围可提高

对交流电动机调速的技术要求，仍是其静态和动态性能指标应满足生产机械所提出的要求。除此之外，还应考虑速度调节的经济性，即提高效率、节约能源和降低成本，不影响供电系统的电能质量，维护、操作方便等许多技术因素。现代交流调速已广泛应用电子元件，由于采用了应用电子逆变技术的交流调速方案，从而具有高效率、宽调速范围、平滑调节特性及优良的静态和动态性能，但在实现交流调速时，应当注意高次谐波、换流、调速系统的构成等具体技术问题。

(1) 高次谐波的影响。调速系统中的变流器的输出或从电网吸收的电压、电流波形为矩形或梯形,含有高次谐波,特别是5、7次谐波,其影响是比较严重的。它使电网损耗增加,并使电网电压波形发生畸变,也使

电动机产生附加损耗,温升增加,电动机的出力受到限制,同时使特性恶化。因而在选用电动机容量时应注意留有一定裕量。高次谐波还引起转矩脉动,特别是对低速稳定运行有较大的影响,有时容易产生谐振现象。为改善波形,近来已发展了一些新的技术,如采用正弦电流变频器,应用脉宽调制(PWM)型变频器,电流型及电压型变频器中采用多重化技术等。

(2) 换流问题。变流器中的晶闸管元件都需要换流,它可以采用自然换流和强迫换流。自然换流是利用交流侧的交变电动势自然地使元件关断实现换流,无需设置任何附加的换流环节,但它要求交流侧能提供必要的容性电流。强迫换流是在变流器内部采用专门的换流线路使元件强迫关断,换流环节不直接与电源或负载连接,不需要负载向变流器提供容性电流。交流调速系统中电网侧变流器可采用自然换流,其结果是使电网的功率因数恶化,大容量装置应注意采用补偿装置。电机侧变流器当采用自然换流时,可配以无换向器电动机以提供容性电流,也可选用异步电动机,但需有昂贵的电容补偿;否则应采用强迫换流,这将使线路复杂化,晶闸管利用率降低。如采用全控型开关元件,将有助于解决这一问题。

(3) 调速系统的构成。由可控电源、交流电动机及控制电路组成交流调速系统,它比直流调速系统要复杂得多。首先,交流电动机的电磁关系远较直流电动机复杂,特别是感应电动机,多个参量彼此制约,加之饱和及高次谐波的影响,使对调速系统的特性分析变得十分复杂。其次,调速系统中的元器件、装置及电动机相互之间,还存在着相互配合的问题。另外,调速系统的控制电路应当考虑瞬时停电措施,如果变频装置没有瞬时停电措施,可能产生过电压和过电流现象,在恢复供电时,可能造成逆变器换流失败,为此,对瞬时停电的交流调速系统,应具有检测、过电压吸收回路快速作用、变频装置继续正常运行等措施。

展望 交流电动机调速的应用是随着电力电子元件和控制技术的发展而扩大的,今后的交流电动机调速除提高性能和精度外,还将进一步缩小体积、减轻重量、降低价格、提高可靠性,减少或不需运行中调整和维护等,以最终完全取代直流调速。

电力电子元件生产技术已大大提高。现已能制造6500 V、3500 A的晶闸管;1400 V、600 A的大功率晶体管(GTR);6000 V、3000 A的可关断晶闸管(GTO);1200 V、160 A的大功率MOS场效应管(P—MOSFET);与GTR具有相近额定电压和额定电流的绝缘栅双极型晶体管(IGBT)器件已实用化,它是将GTR和MOSFET的特性合二为一的新型器件,其开关频率可达20 kHz,适用于要求低噪声的场合。复



合化电子元件,如双向导通晶闸管、逆导晶闸管、模块化等,可减小装置重量、体积和装配工时。这些新技术说明电力电子元件正向着大功率化、高频化、集成化的方向发展。

近年来,在提高调速系统响应速度和精度的同时,正在努力消除系统参数变动以及负荷变化所造成的影响。一种不用速度传感器的无传感器矢量控制方式也正在向实用化发展。由于引入了微型计算机和数字信息处理器(DSP)使实现复杂的计算和控制成为可能。可高速运算的32位DSP的出现,使要求高速响应的电动机控制领域的数字化得以实现。对于需要进行更高速处理的电路,正在探索通过应用门阵列技术来进一步高度集成化。此外,将若干中央处理器(CPU)连接起来,以进行复杂的运算和高速控制,并使某些重要功能双重化,则可提高安全性和可靠性。通用调速装置已开始着眼于人机联系。在控制理论方面,电流不干涉控制、前馈控制、系统的自动协调和脉冲损失补偿等新的控制技术也不断出现。这些数据处理技术和控制技术的新发展可进一步提高交流电机调速的技术性能。

80年代初,曾广泛地预测,交流电动机调速将会完全取代直流调速。在某种程度上,这种预测在中、低性能范围内已实现。矢量控制使交流电动机调速性能与直流电动机一样,但这种控制策略还有许多问题,使它不能象直流电动机的控制那样有效。主要问题是:需要高速非线性控制;磁场定向转换需要准确地跟踪转子磁通的位置;逆变器三相之间相互作用,使电流控制变得困难。随着这些技术问题的继续解决,经济的高性能交流电动机调速不久将会问世。

参考书目

何冠英编著,电子逆变技术及交流电动机调速系统,北京:机械工业出版社,1985

佟纯厚主编,交流电动机晶闸管调速系统,北京:机械工业出版社,1988

(施传立)

jiāoliú diàndòngjī zhíjiē qǐdòng

交流电动机直接起动 (direct-on-line starting of AC motor) 利用开关元件将交流电动机定子绕组直接接到额定电压的电网上进行起动的方**法**,又称全压起动。直接起动的优点是操作和起动设备简单,缺点是起动电流很大。

直接起动的应用受电动机、热稳定性和电网容量的制约。一般笼型感应电动机都按直接起动的电磁力和发热来考虑它的机械强度和热稳定性。因此从电动机本身来说,笼型感应电动机都允许直接起动。因而

直接起动的应用主要受供电电源容量所限制。若供电电源容量不够大,则起动电流可能使电网电压显著下降,影响接在同一电网上的其他电动机和电气设备的正常工作。交流电动机能直接起动的条件是:起动时不超过允许的电压降,保证起动转矩所需要的电源电压,起动容量不超过供电设备和电网的过负荷能力及保证电动机的动稳定和热稳定符合制造厂的规定。

(1) 起动时不超过允许的电压降。一般情况下,对经常起动的电动机应不大于额定电压的10%;对不经常起动的电动机应不大于额定电压的15%。在能保证生产机械所要求的起动转矩,又不影响其他电动机等用电设备的运行时,起动时电动机端的电压降可允许为20%或更大。由单独变压器供电的电动机,起动时的电压降允许值由生产机械的起动转矩决定。

(2) 保证起动转矩所需的端电压。为保证电动机起动转矩大于生产机械的负载转矩,所需电动机端电压为 $U^* = \sqrt{\frac{1.1M_L^*}{M_1^*}}$ 。式中 U^* 为电动机端电压对额定电压的比值; M_L^* 为传动机械的负载转矩对电动机额定转矩之比; M_1^* 为电动机起动转矩对电动机额定转矩之比。

一般笼型感应电动机直接起动的起动电流为额定电流的4~7倍,起动转矩为额定转矩的1~2倍。随着电力系统容量的不断增大,供电电网的容量也会加大,直接起动的应用范围将日益扩大。

同步电动机直接起动,与笼型感应电动机相同,可依靠异步电磁转矩使电动机转子加速。为此,在转子上加装起动绕组(阻尼绕组或鼠笼绕组),它是由装在极靴上的铜导条和两端将导条联成一体端环构成。当同步电动机定子绕组接通电源,在气隙旋转磁场和起动绕组的作用下产生异步电磁转矩,使电动机转子起动加速,但只能加速到亚同步转速(95%~97%的同步转速)。这时,立即将励磁绕组通入直流电流,依靠定、转子磁场的相互吸引将转子牵入同步,进而依靠同步电磁转矩以同步转速稳定运行。这种起动方法又称同步电动机的异步起动。同步电动机异步起动性能的好坏,可以用最初起动转矩和牵入转矩来表征。牵入转矩是指转速达到95%同步转速时电动机的异步转矩,其值愈大则愈易牵入同步。同时,轴上的负载愈轻,电机也愈易牵入同步。凸极机由于有磁阻转矩,比隐极机容易牵入同步。为避免励磁绕组产生过高电压或较大的附加转矩(又称单轴转矩),励磁绕组接通直流电源之前,应串接阻值为自身电阻10倍的附加电阻,构成闭合回路。否则,励磁绕组开路时会产生过高电压;直接闭路时会产生较大附加转矩,并使电机在半同步转速附近运转,不能达到同步转速。同步电动机直接起动

时,不仅要考虑电网电压的下降程度及对邻近其他电动机和电气设备的影响,还要考虑起动电流对定子绕组产生的动热稳定影响。

(叶 东)

jiaoliu diandongji zhidong
交流电动机制动 (braking of AC motor)

将交流电动机电磁转矩的方向改变为与转子转向相反,以实现电动机的停止或限速的方法。制动的目的是使电机转子尽快地停转或由高速迅速地变为低速或限制位能性负载的下降速度。

交流电动机的制动方式和直流电动机的一样,也可分为能耗制动、反接制动和回馈制动。

能耗制动 可分为感应电动机的能耗制动和同步电动机的能耗制动。

(1) 感应电动机的能耗制动。将正在运行的感应电动机定子绕组从电网断开,接到一直流电源上,由直流电流励磁,在气隙中建立一恒定磁场,由惯性作用拖动的转子绕组切割这一磁场产生感应电动势和电流,该电流与磁场作用产生的转矩起制动作用。这时转子的动能全部变换成电能消耗在转子回路的电阻上,故称能耗制动。能耗制动多用来使感应电动机迅速停车,其典型线路和机械特性如图 1 所示。图 1 (b) 中 P 点

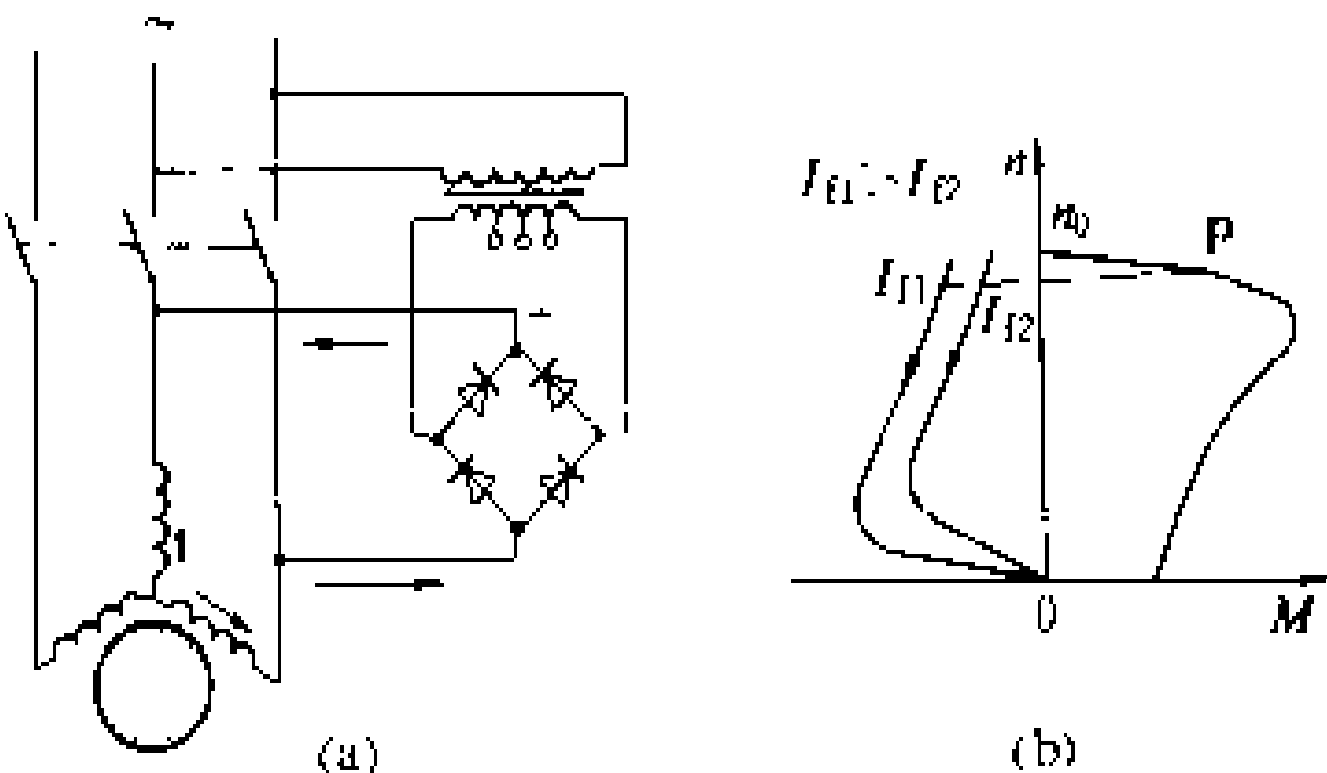


图 1 感应电动机的能耗制动的典型接线
(a) 接线图; (b) 机械特性

为电动机的原工作点,第二象限的曲线为加入直流后的机械特性。改变图中变压器二次电压可调节励磁电流的大小,从而可以控制制动转矩的大小。如为绕线转子感应电动机,改变转子附加电阻,也可调节制动转矩的大小。

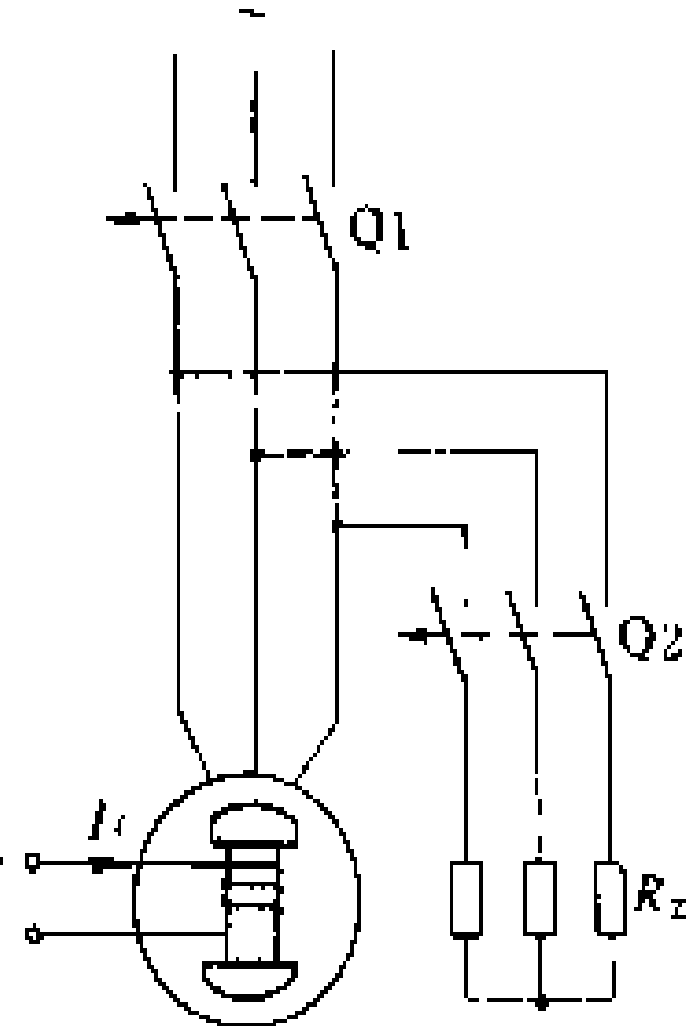


图 2 同步电动机能耗制动接线图

(2) 同步电动机的能耗制动。其接线图如图 2 所示。制动时,将运转的同步电动机从交流电网断开,并立即将定子绕组接

到一制动电阻上(或频敏变阻器上),并保持励磁电流不变,同步电动机靠惯性作用拖动旋转而向制动电阻供电,成为发电机运行,此时产生的电磁转矩为制动转矩,机械系统贮存的动能转换成电能消耗在制动电阻上,电机将迅速停转。

反接制动 常用于需要迅速停车或迅速反转的生产机械中。它分为正转反接制动和正接反转制动两种。

(1) 正转反接制动。将正在电动状态下运行的感应电动机的定子三根供电线中任意两根对调,由于改变了定子电流相序,所产生的旋转磁场立即反转,从原来与转子转向一致改变为与转子转向相反,于是电动机运行于转差率 $s \approx 2$ 的电磁制动状态,产生的电磁转矩对转子起制动作用。当转速降至零时,必须立即断开电源,否则电动机将反向起动。其机械特性如图 3 所示。由于反接制动电流很大,对于绕线转子感应电动机,反接时应在转子回路串入附加电阻(或频敏变阻器),对于笼型感应电动机一般只限于 10 kW 以下的容量。

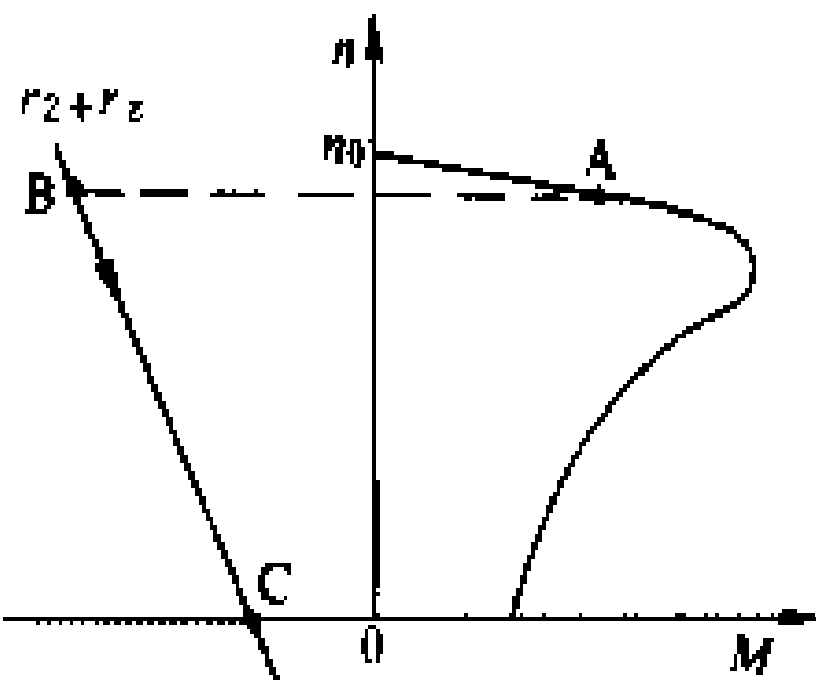


图 3 绕线转子感应电动机
正转反接制动机械特性

(2) 正接反转制动。当绕线转子感应电动机拖动起重机下放重物时,可保持电动机运行时定子接线不变,而增大串入转子回路的电阻,使电动机的转速从正转逐渐降至零,然后变为反转,此时转子转差率大于 1,处于电磁制动状态,从而保证重物以较低的速度下降。改变转子电阻可以获得不同的下降速度,其机械特性如图 4 所示。

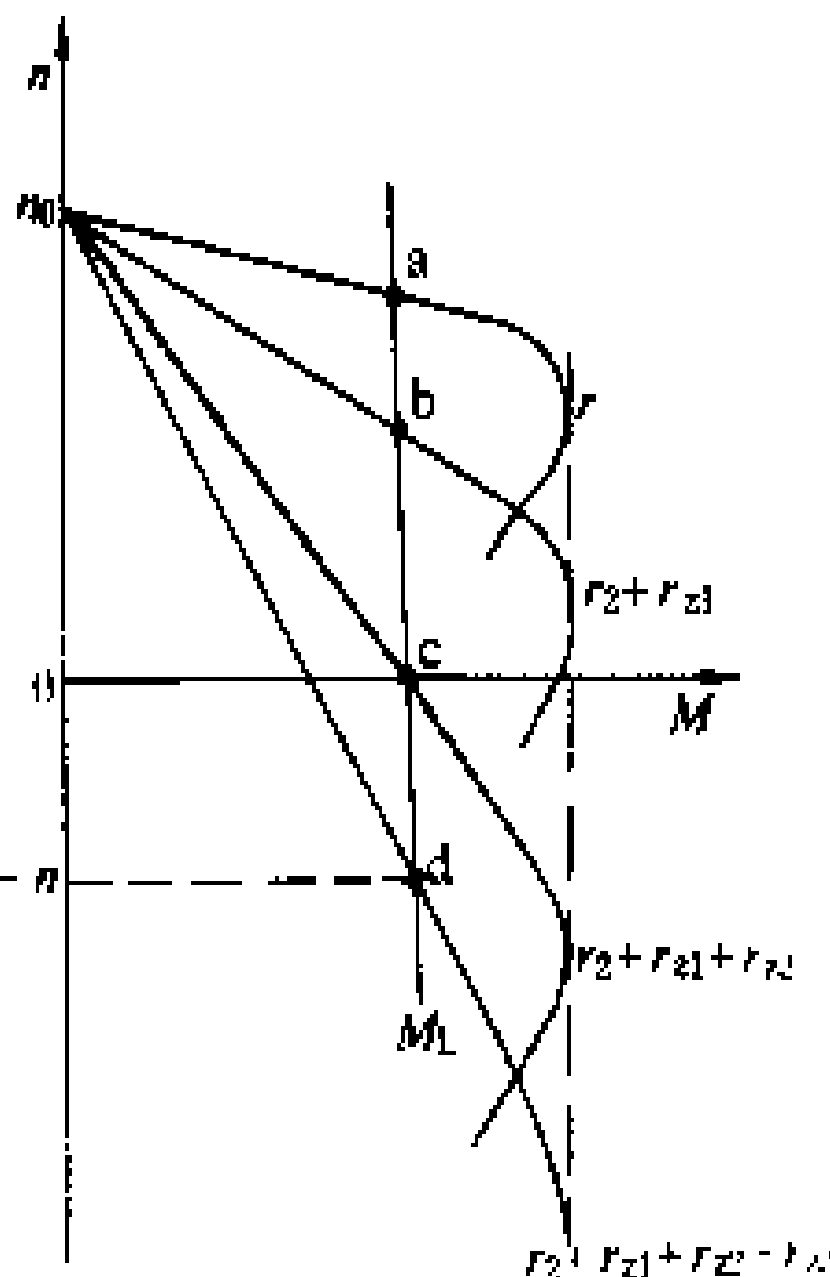


图 4 绕线转子感应电动机
正接反转制动机械特性

回馈制动 又称再生制动。用于带位能性负载或惯性作用而超速的感应电动机。位能性负载如起重机提升与放下重物这类的负载,不论运动方向如何,重力作用总是向下的,重力转矩的方向也总是不变的。当电动机被生产机械的位能性负载或惯性作用驱动转子转速超过同步转速时,感应电动机即成为发电机运行,此时电机的有功电流和电磁转矩改变方向,从而制止转

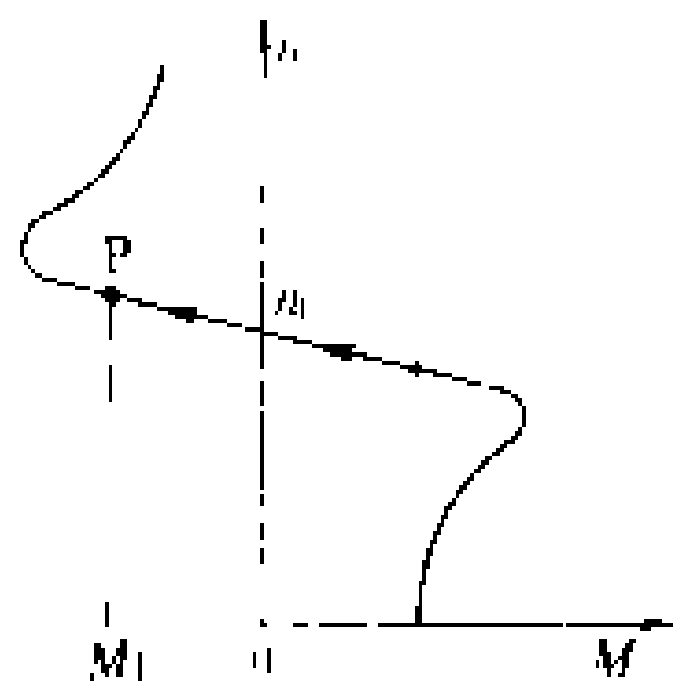


图5 感应电动机回馈制动机械特性

速的进一步增加,起到了制动作用。其机械特性如图5所示。图中P点为发电机运行时的工作点。

回馈制动常用于起重机电机下降重物时的制动。感应电动机变极调速中由少极数变为多极

数,或变频调速中由高频调为低频时,由于同步转速突然下降很多,使转子转速高于同步转速,此时感应电动机也处于回馈制动状态。

(叶东)

交流电动机转子串电阻起动 (starting of AC motor by series rheostat in rotor circuit)

在绕线转子感应电动机转子回路串入电阻进行起动的方法。转子回路串电阻进行起动,可以提高起动转矩和减小起动电流,甚至可以获得最大起动转矩,因此常用于起动困难的机械中。其缺点是转子绕组复杂,坚固性差,效率也稍低。

为了在整个起动过程中得到比较大的加速转矩,并使起动过程平滑,起动电阻被分成几段,在起动过程中逐级切除。图中表示了转子串接三级电阻起动接线图,图中曲线1,2,3分别为转子回路串入 $(R_{s11}+R_{s12}+R_{s13})$ 、 $(R_{s11}+R_{s12})$ 和 R_{s11} 时电机的机械特性,曲线4为转子回路不串电阻时电机的机械特性(固有机械

切除,电机的运行点由曲线2(e点)移到曲线3(d点)上,电机的转速和转矩沿曲线3变化;最后当转矩减小到 M_{s2} 时,接触器QC1闭合,起动电阻全部切除,转子绕组直接短路,电机的转速和转矩沿固有机特性变化,直到电磁转矩与制动转矩相平衡,电机稳定工作。在起动过程中,一般取起动转矩的最大值 M_{s1} 为 $(1.5\sim 2.2)M_N$ (M_N 为额定转矩),最小值 M_{s2} 为 $(1.1\sim 1.2)M_N$ 。如果电动机有举刷装置,起动过程结束后,应将三相滑环短接,然后举起电刷,以防止电刷磨损,并可减少摩擦损耗。

接在转子回路中的起动电阻通常为星形连接。小型电动机配用的起动电阻是用金属电阻丝制成,浸在油内,以利散热。大型电动机的起动电阻,用铸铁电阻片或水电阻。

为了能以较少数量的换接元件和电阻段数来得到较多的起动级数,有时也采用转子电路串接不对称电阻起动。

(叶东)

交流电气化铁道负序电流 (negative sequence current and voltage produced by AC electrified railways)

交流电气化铁路的单相牵引负荷可造成牵引变电所一次侧三相负荷电流不平衡,从而在电力系统中产生负序电流。

任一三相不平衡电流均可用对称分量法分解成正序、负序和零序三组对称分量的叠加。对于接入三相系统线电压间的单相负荷,不存在零序分量,只有正序和负序分量。

电力牵引变电所产生的负序电流,仅仅取决于两供电臂牵引负荷的相位和幅值。因此,可以把牵引变电所看作是一个负序电流源。至于负序电流在电力系统中的分布则与系统的等效负序网络阻抗有关。负序电流进入电力系统可产生以下有害影响:

(1)可在三相同步电动机的定子中产生负序旋转磁场,并以2倍同步转速切割转子,造成额外损耗和电机局部过热,并使输出功率降低;

(2)负序磁场产生的负序转矩可使电机发生振动;

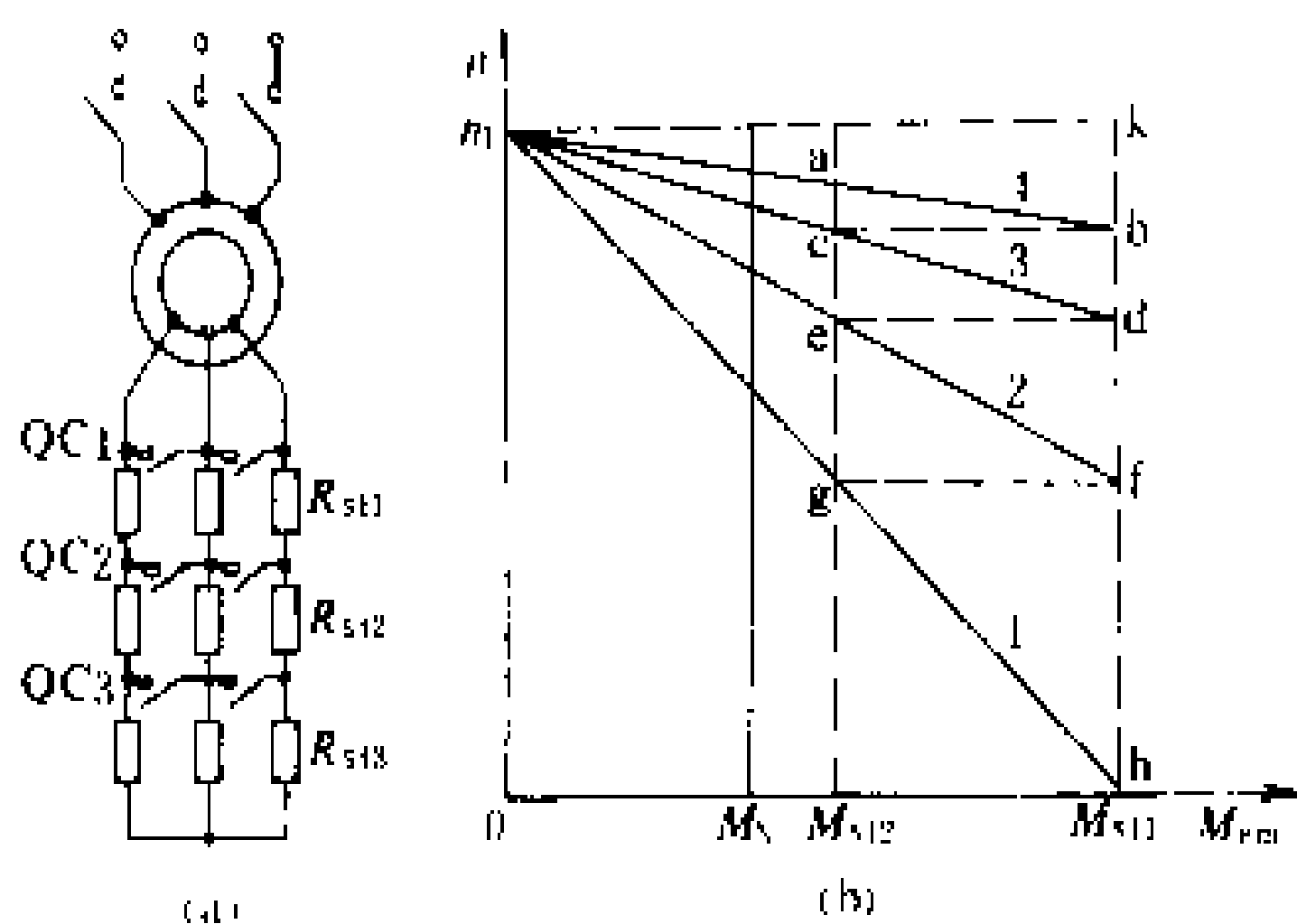
(3)负序电流通过负序网络可产生负序电压降,造成电力系统三相电压不平衡,使电力用户旋转电机三相电流产生不平衡,引起电机局部过热和出力降低。

不同接线牵引变电所的负序电流特性如图所示。

中国对发电机允许的不平衡电流值规定如下:

(1)一般应遵守制造厂的规定,如厂家未给出标准,则按下述(2)、(3)、(4)条执行。

(2)在按额定负荷连续运行时,汽轮发电机三相电



转子串电阻起动接线图和机械特性

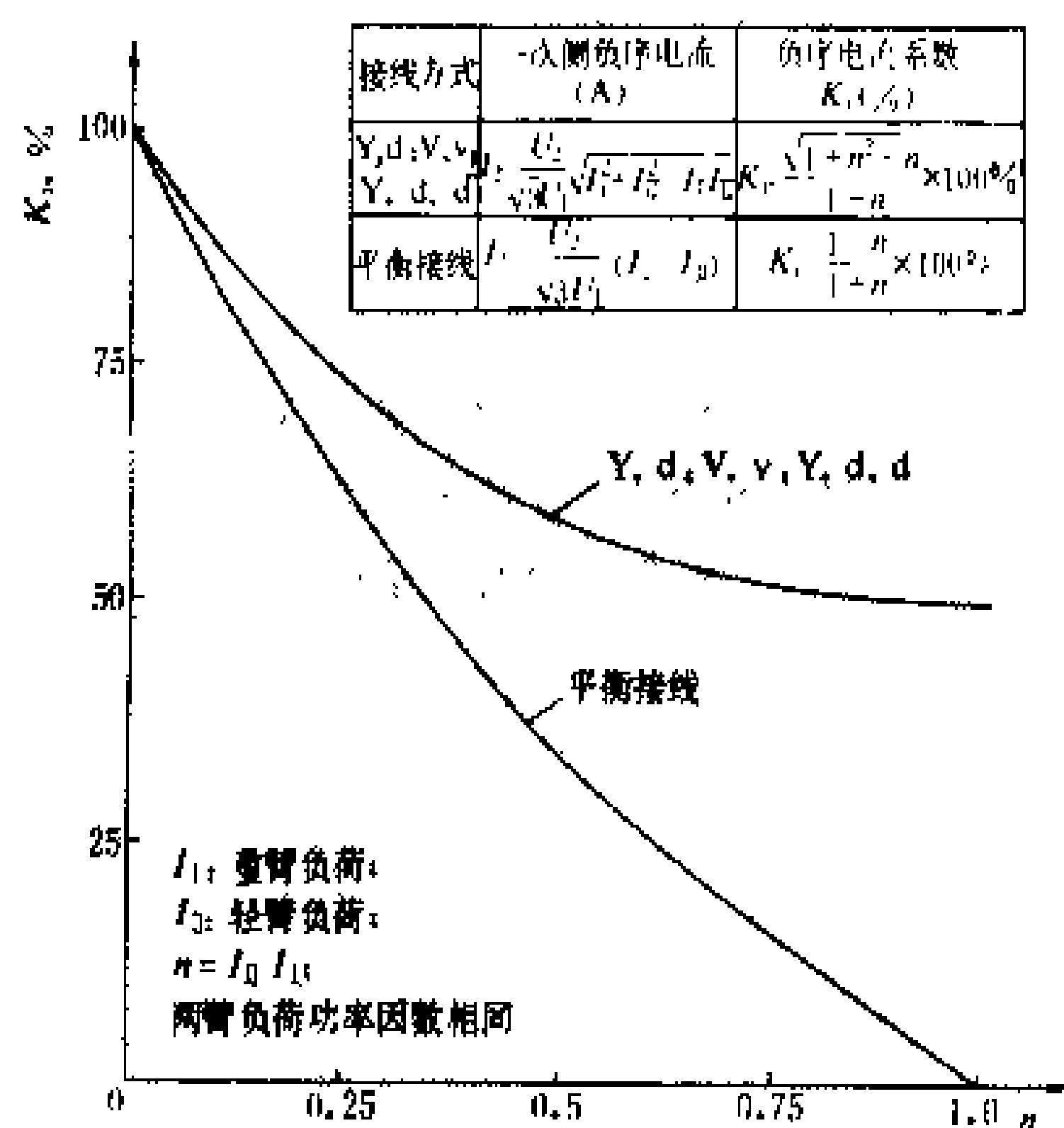
(a) 接线图; (b) 机械特性

特性)。开始起动时, $n=0$,全部电阻接入,这时起动转矩为 M_{s1} ,随着转速上升,转矩沿曲线1变化,并逐渐变小;当减小到 M_{s2} 时,接触器QC3闭合, R_{s13} 被切除,电机的运行点由曲线1(g点)移到曲线2(f点)上,转矩跃升为 M_{s1} ,电机的转速和转矩沿曲线2变化;待转矩又减小到 M_{s2} 时,接触器QC2闭合,电阻 R_{s12} 被

流之差不超过额定值的 10%；水轮发电机和同步调相机三相电流之差不超过额定值的 20%，同时任一相电流不得大于额定值；

(3)在低于额定负荷连续运行时，各相电流之差可以大于上面所规定的数值，但应根据试验确定；

(4)转子为绑线式的汽轮发电机，禁止在不平衡负荷下运行（当负序电流不超过正序电流的 5% 时，则认为三相电流实际上是平衡的）。



不同接线牵引变电所的负序电流特性

为了改善交流电气化铁路三相不平衡带来的负序电流和负序电压对系统和用户的不利影响，所采取的措施有：

(1)均衡负荷。将每个单相牵引变电所分别接入不同相别，尽量使负荷平衡，以使电气化铁路产生的三相不对称分量尽量减到最小程度。

(2)采用阻抗匹配平衡变压器。一种阻抗匹配平衡变压器正在积极研制中，这种变压器的高压三相绕组连成星形、低压三相绕组连接三角形，在低压侧三相铁芯中间芯柱的一相绕组上加两个外延支臂，每个支臂的匝数为该三角形绕组匝数的 0.366 倍。通过样机模型试验，阻抗匹配平衡变压器具有变压和换相功能，并可使三相功率相等，较大地削弱了负序电流和抑制了负序电压，对电力系统安全运行大有好处。

(3)采用交流-直流-交流电力机车（见电力机车）。
(缪耀珊)

果，使各传动轴同步运转，因此称为交流电轴。它也可采用定子电压相等、转子电压相等、极对数相等但功率不等的电机。交流电轴可用于龙门吊、船闸闸门、水库启闭机、大型金属切削机床和冶金工业中的飞剪等生产机械上。

交流电轴的主要连接方式如图所示，分为：①具有主传动电动机和辅助平衡电动机的电轴系统 [如图 (a)、(b)、(c) 所示]；②具有公共变阻器的电轴系统 [如图 (d) 所示]；③具有公用变频装置的电轴系统 [如图 (e) 所示]。第一种系统适用于转速范围宽、不平衡力矩大的场合。第二种系统适用于转速范围窄、不平衡力矩小、投资省的场合。第三种系统适用于转速范围宽、不平衡力矩大、传动点数多的场合。

为了保证交流电轴的正常同步运转，在设计使用时应当注意以下几点：

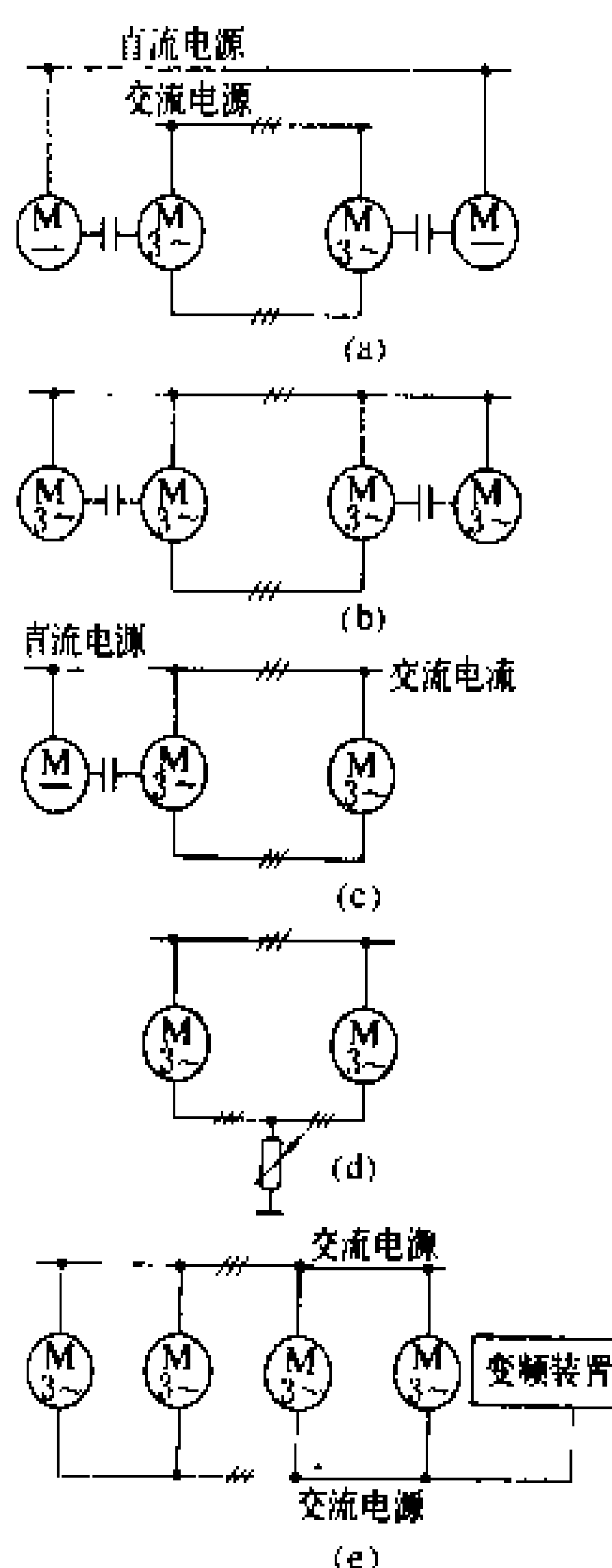
(1)采用公用变阻器的电轴系统中的交流线绕式电动机的同步转速要比机器运转所需的转速高 20%~30%，以保持一定的滑差维持平衡力矩。

(2)对电轴系统定、转子回路的连接导线要有足够大的截面，以免导线截面小、电阻大而影响平衡力矩。

(3)要考虑电网电压降低对平衡力矩的严重影响。

(4)对电轴系统在起动以前要先单相整步后再起动。在停车时要停车后再断电轴系统定、转子电源和回路，以保持同步制动。

(吴国庆 施传立)



交流电轴的主要连接方式

(a), (b), (c) 具有主传动电动机和辅助平衡电动机的电轴系统；

(d) 具有公共变阻器的电轴系统；

(e) 具有公用变频装置的电轴系统

jiāoliú diànzhou

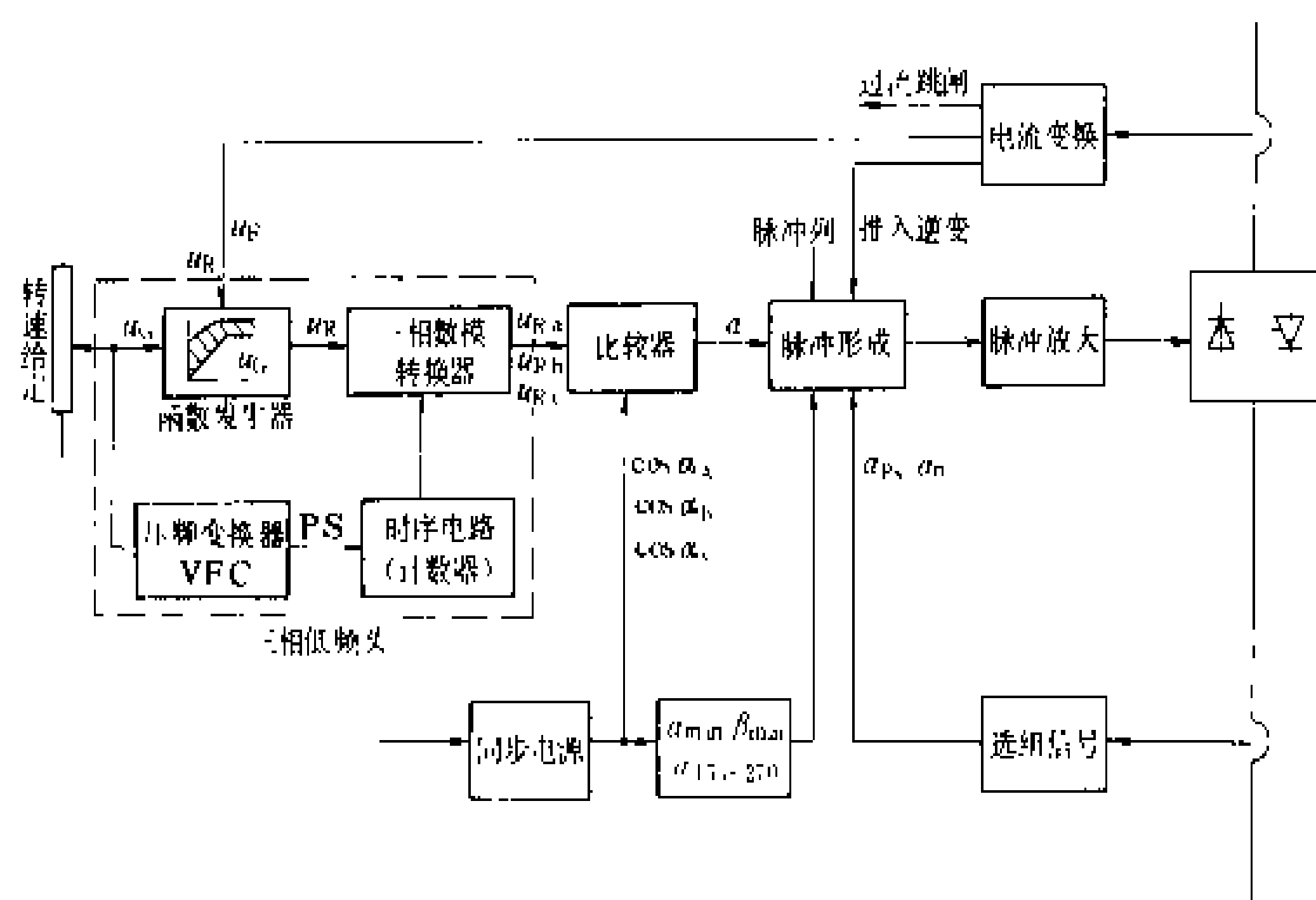
交流电轴 (AC electric shaft) 多台绕线转子感应电动机通过电气连接方式实现同步运转的系统。通常将型号完全相同的两台以上交流绕线转子感应电动机连接起来，产生与以机械轴相连的同等效

jiāoliú - jiāoliú zhíjiē biànpín tiáosu

交流-交流直接变频调速 (variable frequency AC motor speed control by direct AC-AC converter) 采用交流-交流直接变频

(1) 电压型。变频器实际上是由正、反两组整流器组成,这些整流器按照负载电流的极性,交替控制通断,以便给负载提供交流电流。对相控整流电路而言,当控制角 $\alpha=0$ 时,输出电压最大; $\alpha=\pi/2$ 时,输出电压为零。如果变频器的正、反两组整流器交替地连续改变 α 角时,可以得到逼近正弦波型的平均输出电压。当 α 角由零变至 $\pi/2$,平均电压由正最大减小至零,在电压正半波内;当 α 角进一步增大,平均电压变为负值,电压负半波内。当按一定方式控制 α 角,使其在 α_0 (>0) $\sim \pi-\alpha_0$ 的范围内来回变动,可使平均输出电压按正弦规律变化。正、反组整流元件轮流处于整流、逆变、阻断状态。为了使正、

控制系统 以模拟式电压型交流-交流直接变频调速系统为例加以说明。图 2 为其变频调速系统框图，图中的函数发生器使输出电压和频率的关系能按照要



求进行协调控制,并有电流正反馈以补偿阻抗压降,可

保证电动机的过载能力和轻载时弱磁运行。输出频率由电压 u_G 给定,一路经压频变换器 VFC,再经时序电路进入三相数模转换器,决定其输出频率;另一路经函数发生器决定与输出频率相应的电压幅值 u_R ,进入三相数模转换器。三相数模转换器输出电压即为与给定值相对应的三相基准电压。再经过比较器形成触发晶闸管的触发角,并产生触发脉冲,经放大后触发晶闸管。

由于交流-交流变频器中,交流输入侧会产生很大的无功功率,从而降低电源设备利用率;交流输入侧存在着高次谐波电流,将使电源电压的波形发生畸变。如要降低无功功率,可采用中点偏压法、环流控制法、级联法等控制方法。如要降低高次谐波,可采用输出电流波形控制法、两台交流-交流变频器协调运行等。但这些方法都使信号处理更为复杂,许多问题依靠模拟电路已无法解决。近来,价格低廉、性能良好的微机控制电路已经产生,从而简化了电路、提高了控制性能。

应用 交流-交流变频器为一级(直接)换能,效率可高达 90% 以上;其换流为电源自然换流,不需要辅助换流电路,简化了主电路;直接变频容易实现四象限运行。但由于交流-交流变频器中晶闸管是靠电网电压进行换流,变频器最高输出频率不超过电网频率的 $1/2 \sim 1/3$,否则,输出波形将发生严重的畸变和不对称。因此,这种变频调速适于低速大容量的电动机负载,如球磨机、矿井提升机、轧钢机、卷扬、风洞等传动;或者将中频变为较低频率供电给电动机进行调速,如电动车辆上将 1000 Hz 中频发电机的电能转变为 400 Hz 以下的电能供给电动机进行调速。如果交流-交流变频器所带负载是容性的,例如在无换向器电机中,电流超前于电压,或者采用其他措施进行强迫换流,使晶闸管能及时关断,则交流-交流变频器的输出频率将不受限制,甚至可以作到输出频率高于电源频率,从而可能实现对高速电动机进行调速。

参考书目

何冠英编著,电子逆变技术及交流电动机调速系统,北京:机械工业出版社,1985

(施传立)

jiāoliú mǎikuān tiáozhì biànphín tiáosu

交流脉宽调制变频调速 (AC motor speed control by PWM frequency converter)

在交流-直流-交流变频调速系统中,采用脉冲宽度调制(Pulse Width Modulation, PWM)实现交流电动机调速的技术。交流电动机的绕组极对数一定时,其同步转速与供电电源频率成正比,改变供电电源频率就能调节交流电动机的转速。脉冲宽度调制(简称脉宽调制)

技术是 1969 年德国的 A. 舍龙(A. Schöning)等把通信系统中的调制技术应用于交流电动机调速中提出的,70 年代后期得到了发展,80 年代利用这种技术的调速控制已进入实用阶段。采用脉宽调制控制技术,是将载频信号与参考电压信号进行比较,发出调制信号控制变频器开关元件的通、断,使其输出端获得矩形脉冲波形,通过改变载频信号或参考电压信号的频率和幅值,可改变输出脉冲的宽度或幅度及频率,随之改变基波输出电压和频率,即改变交流电动机供电电源的电压和频率,实现交流电动机的速度调节。

PWM 型变频器 利用脉宽调制控制技术控制的变频器称 PWM 型变频器。对于一般的工业应用,PWM 型变频器的整流器部分由二极管桥式整流器和 LC 滤波器构成,基波频率的输出电压是在逆变器内部以多脉冲脉宽调制方法进行控制的。按脉宽调制的方法分单极性调制与双极性调制;按参考电压的性质分直流参考电压调制与正弦波参考电压调制。

(1)单极性直流参考电压调制。载频信号为单极性等腰三角形波,

参考电压信号为直流电压。如图 1(a)所示,图中分别为载频信号 u_c 、直流参考电压信号 u_r 的波形图和三相输出中的 a 相电压 u_a 波形图。当三角波幅值一定,只要改变直流参考电压信号 u_r 的大小,即可改变输出脉冲宽度,从而改变基波电压 u_{a1} 大小;只要改变载频信号的频率,同时保持每周输出脉冲数不变(维持开关元件的半周通断次数不变),则可改变输出电压的频率。如同时改变三角波的频率

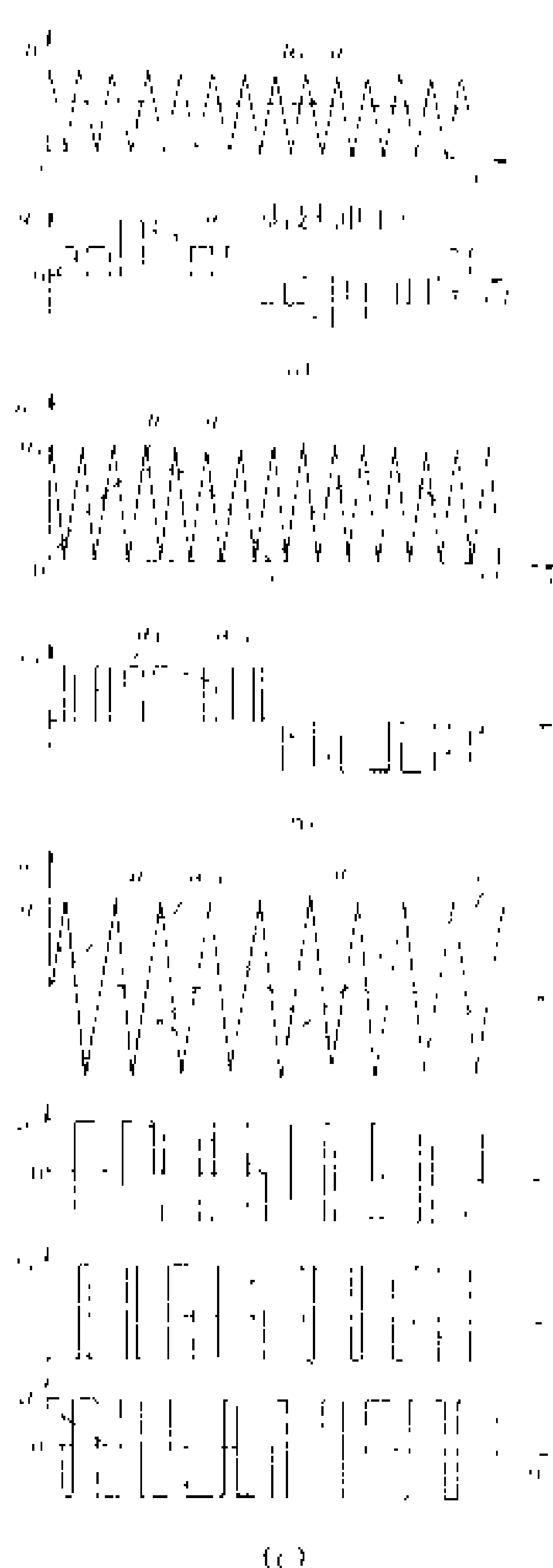


图 1 各种调制方法的波形

(a) 单极性直流参考电压调制; (b) 单极性正弦波脉宽调制; (c) 双极性调制

使逆变器的输出在变频的同时相应地改变电压的大小,满足交流电动机调速时电压与频率的变化关系(见变频调速)。

(2) 单极性正弦波脉宽调制。如图 1 (b) 所示,图中分别为载频信号 u_c 、参考电压信号 u_r 的波形图和三相输出中的 a 相电压 u_a 的波形图。载频信号仍为单极性等腰三角形波,参考电压信号则为单极性正弦半波串,三相逆变器中的参考电压信号应互差 120° 。输出电压的大小和频率都是由参考电压信号控制。当改变 u_r 的大小时,输出电压的大小随之改变;当改变 u_r 的频率时,输出电压的频率随之改变。这比直流参考电压调制波形更接近于正弦波形,称单极性正弦波脉宽调制。

(3) 双极性调制。如图 1 (c) 所示,图中分别表示双极性载频信号 u_c 和三相正弦参考电压信号 u_{ra} 、 u_{rb} 、 u_{rc} 的波形图,以及三相输出电压 u_a 、 u_b 、 u_c 的波形图。输出电压的大小和频率同样是由改变正弦参考电压的幅值和频率来控制,又称双极性正弦波脉宽调制。

PWM 型逆变器主电路 常用的有下列两种:晶体管通用型三相 PWM 逆变器和晶闸管 PWM 型逆变器。

(1) 晶体管通用型三相 PWM 逆变器。如图 2 (a) 所示,由二极管三相整流桥变流器的恒定直流电压供电。平波电容器使逆变器与交流电网去耦,并提供必要的无功功率。为了能够实现四象限运行,直流侧接入制动电阻和晶体管,当负载电动机工作在再生发电状态下,回馈能量将通过回馈二极管 V11~V16 向电容 C 充电,为避免直流电压过高,晶体管 V27 导通使部分回馈能量消耗在制动电阻上。此时,由于晶体管仍处于调制工作状态,必将出现电动机两端线间经导通的二极管和晶体管短接,为此必须采取措施,当短接电流超过允许值时,需封锁晶体管,以免管子损坏。这种逆变器还只是中小容量装置,以后将会出现大容量的装置。

(2) 晶闸管 PWM 型逆变器。根据换流方式的不同,有多种构成形式。因为普通晶闸管本身没有自关断能力,而 PWM 型逆变器中要求在输出的半个周期内通断换流多次,因而晶闸管不能采用自然换流方法换流,也不能用加辅助开关元件进行换流,必须另外附加一个换流电路,按脉宽调制的要求及时进行强迫换流。图 2 (b) 为集中式强迫换流型的晶闸管三相桥式 PWM 型逆变器主电路。晶闸管 V21~V26 和二极

V16 组成逆变器主开关电路, V27~V210 和电抗 L、电容 C 构成换流电路, V211、V212 和电容 C_1 、电阻 R_1 、 R_2 等组成晶闸管过载保护环节。当负载电动机工作在再生发电状态时,反馈电流经过续流二极管 V11~V16 流入直流侧。用电抗器 L 限制通过晶闸管反馈电流的上升率,可以避免反馈电流被直接短路。二极管 V17、V18 为电抗器 L 的续流二极管,当直流侧电流减

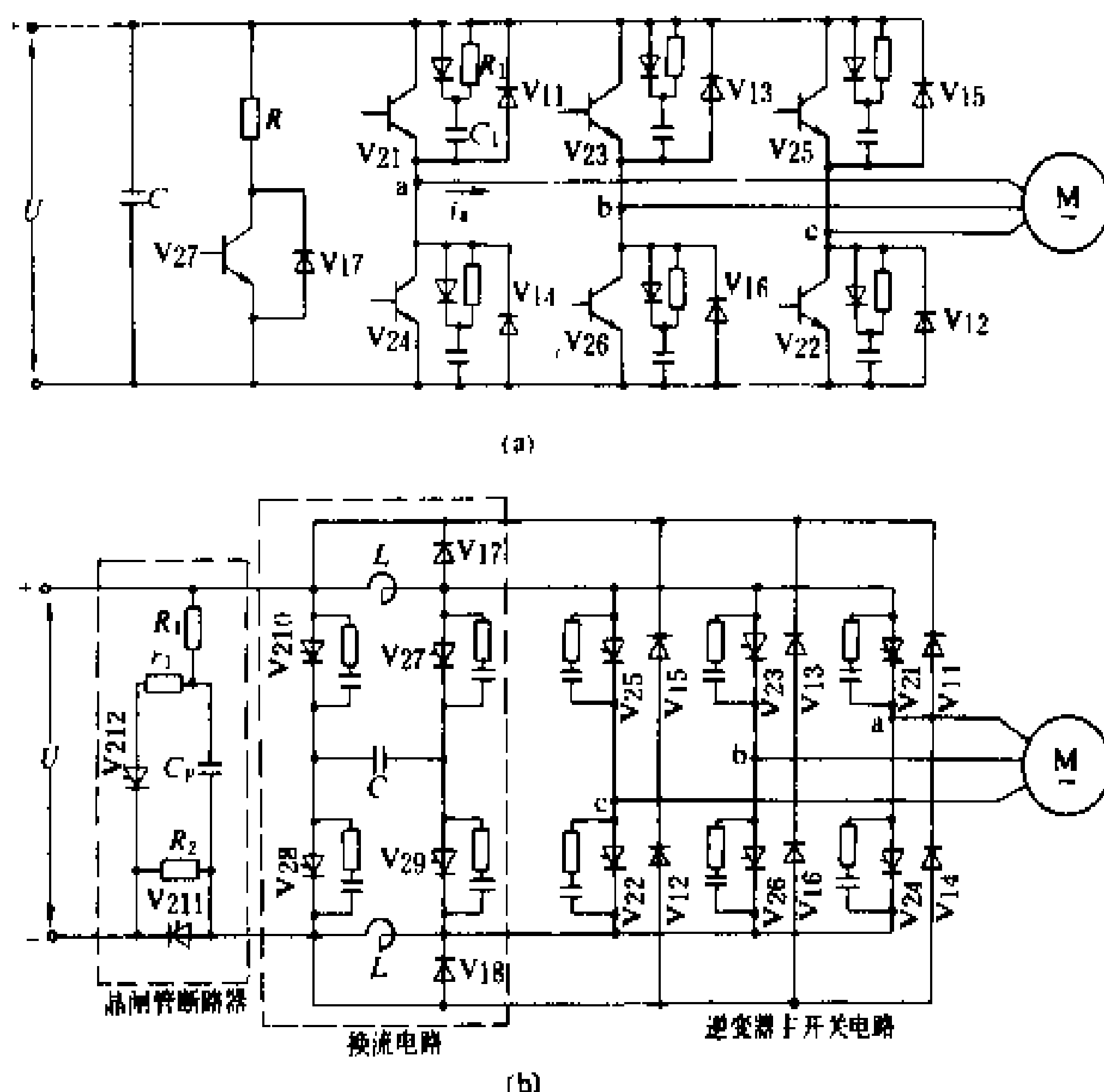


图 2 PWM 型逆变器主电路

(a) 晶体管通用型三相 PWM 逆变器; (b) 集中式强迫换流型晶闸管 PWM 型逆变器

小时可以避免在逆变器两端出现过电压。

脉宽调制 (PWM) 变频调速系统 调速系统除主电路外,主要包括频率给定、 U/f 变换器、载频信号发生器、调制系数及脉冲数 (m , N) 控制器、PWM 调制器、逻辑电路、触发电路等。图 3 为可关断晶闸管

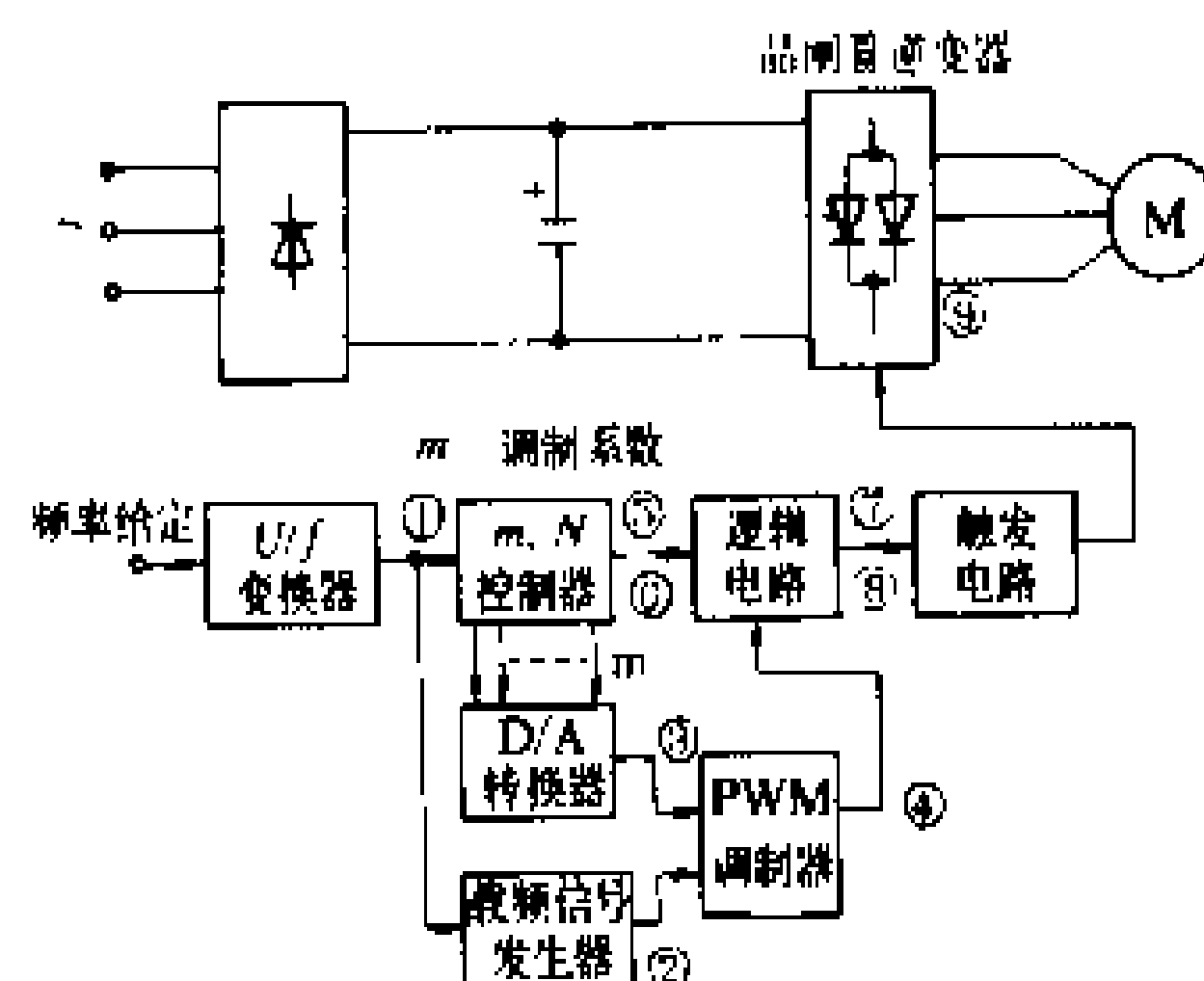


图 3 可关断晶闸管准 SPWM 变频调速系统

准正弦波脉宽调制 (SPWM 型) 变频调速控制系统。载频信号与 U/f 变换器输出脉冲同步,为幅值恒定的等



腰三角形波，PWM 调制器输出准 SPWM 波（阶梯形参考电压信号与三角波载频信号的调制输出波）。输出电压基波幅值正比于调制系数 m （阶梯形参考电压信号最大幅值与三角波载频信号幅值之比），输出电压的频率正比于载频频率。当进行调速时，可改变频率给定值， U/f 变换器输出脉冲的频率发生相应地改变，载频信号发生器产生同频率幅值恒定的三角波，按要求的电压频率比改变调制系数 m ，经过调制后即可按所给定的电压和频率输出，从而改变电动机的速度。

调速系统的控制方式大体可分为模拟电路控制，微机控制和数字模拟混合控制。各种控制方式都有其一定的特点，近年来微机控制发展很快。

应用 交流脉宽调制变频调速的优点是：主电路结构简单，电网侧功率因数高，输出电压波形近似于正弦形，电压调节速度高，调压调频范围广，能扩大调速范围。缺点是晶闸管工作在高频状态，对元件的性能要求较高，开关损耗较大。如是中、小容量的变频器，采用大功率晶体管（GTR），可取消换流

电路，效率将更高，输出电压将更好，调速范围更宽。近年来，采用功率 MOSFET 等器件构成的变频器的开关频率也很高，其所需的门极驱动功率低，损耗更小，大有发展前途。

（施传立）

jiāoliú tiāoyā tiáosu

交流调压调速（AC motor speed control by terminal voltage） 改变感应电动机定子电压实现调速的技术。这是属于调节转差率调速的一类。调节电动机的速度就是改变其电磁转矩，当感应电动机的定、转子回路参数恒定时，在一定的转速运行下，感

应电动机的电磁转矩与定子电压的平方成正比。调节定子电压将使电磁转矩产生变化，在一定的负载转矩下可使电动机转速改变。图中示出了与三个定子电压 U_1 、 U_2 、 U_3 对应的转矩转速曲线 $[M=f(n)]$ 1、2、3，由于 $U_1>U_2>U_3$ ，曲线 1、2、3 的转矩值将依次按平方关系降低。在恒转矩负载 M_L 的情况下，电动机的转速将分别为 n_1 、 n_2 、 n_3 。即当定子电压降低时，电动机的转速将下降；反之，电动机的转速将升高。

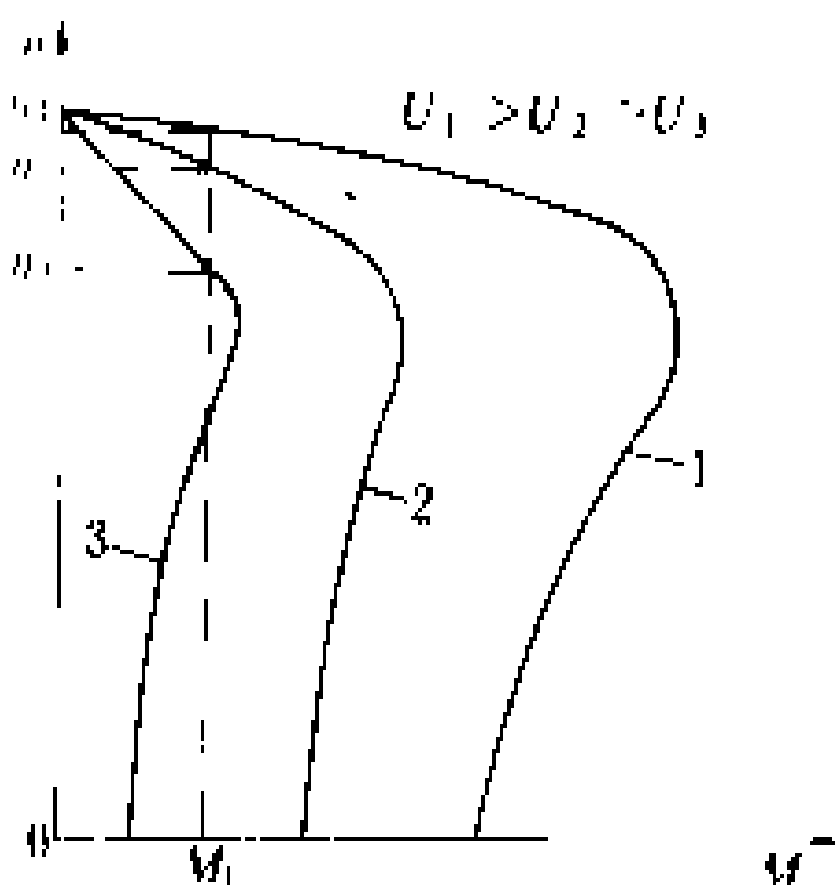
晶闸管交流调压器的典型主电路

基本电路			
晶 闸 管 电压 负荷	可达 $1.2U_{l,max}^{①}$	可达 $1.2U_{ph,max}^{②}$	可达 $1.2U_{l,max}$
特点与应用	负载可以接成星形或三角形。输出电压谐波分量与线电流的谐波分量小。适用于对电流波形要求较高及可逆运转的场合	谐波电流较大。因负载带中线，故大容量设备中不宜采用	有逆序转矩分量，效率较低，但线路简单，成本低，且电流波形好。适用于小容量系统
基本电路			
晶 闸 管 电压 负荷	可达 $1.2U_{l,max}$	可达 $1.2U_{l,max}$	可达 $1.2U_{l,max}$
特点与应用	各相电流不平衡，容易局部过热，电流波形比较差，输出转矩低。线路简单，适用于小容量可逆系统	各相电流不平衡严重。由于即使不触发晶闸管也会产生单相转矩，因此不能控制低转矩。线路最简单，适用于不可逆小容量系统中采用	有偶次谐波，效率较低。线路简单，成本低。适用于能分成单相接线的电动机

① 1.2 为安全系数， $U_{l,max}$ 为线电压最大值；

② $U_{ph,max}$ 为相电压最大值。

根据调压调速原理，既可以升高定子电压进行调速，又可以降低电压进行调速。但由于升高电压会使电动机磁路饱和，造成空载电流剧增，负载能力下降，实际上只能降低电压调速。由于电压下降引起转速降低，转子回路感应电动势将增大，转子电流也将增大，可能引起过电流。如果转子电阻较大，



改变感应电动机
定子电压调速

可以起到限制转子电流、提高电动机功率因数的作用,因而必须采用能防止低速时产生大电流的特殊结构的笼型感应电动机(调压电动机),或采用绕线转子感应电动机(转子回路可串接电阻或频敏变阻器)。转子回路电阻的加大,使恒转速负载下也可得到较宽的调速范围,但由于感应电动机的机械特性太软,不能满足静差率的要求,为此要采用速度负反馈的闭环控制系统,以得到平滑且广范围的调速。

交流调压调速的效果是靠加大转子上的损耗来获得的,因而又称耗能式调速方式。当负载是风机、水泵类时,转速降低的同时负载也变小,对减轻电动机发热有利;同时,又有较宽的调速范围,因而这种调速对风机、水泵等与转速呈平方关系的负载比较合适。对于恒转矩类负载最好采用变极调压(改变极对数同时进行调压)调速。

交流调压调速系统可以由自耦变压器或饱和电抗器控制,也可由晶闸管控制。由于变压器或电抗器比较笨重,损耗也大,且不利于自动调节和动态响应慢(0.1s以上),已被晶闸管交流调压器所代替。晶闸管交流调压器的典型主电路列于表中(表中基本电路只画了定子回路),其中前三种电路属对称调压电路,后三种属不对称电路,它们的特点及应用也列于表中。为了实现可逆运转,可以利用电磁接触器控制正反转,虽装置简单,但系有触点切换,快速性及可靠性较差,只适用于不频繁正反转的中小容量电动机。如果采用两组晶闸管元件接成逆相序,实现无触点切换,则可应用于要求频繁正反转及快速制动的系统。晶闸管交流调压电路具有结构紧凑、轻便、成本较低、动态响应较快等优点,在中、小容量,且对性能指标要求不十分高的场合,如低速电梯、起重机械、风机、泵类等负载,得到了较广泛的应用,也可用作无电流冲击的感应电动机的软启动装置。

参考书目

- 冯信康,杨兴瑶编译.电力传动控制系统原理与应用.北京:水利电力出版社,1985
佟纯厚主编.交流电动机晶闸管系统.北京:机械工业出版社,1984

(施传立)

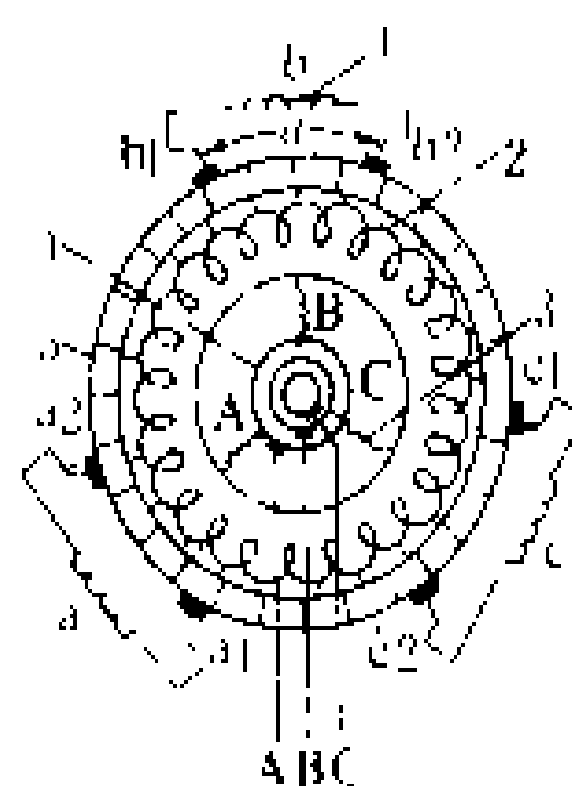
jiaoliu zhengliuzi diandongji

交流整流子电动机 (alternating current rectifier motor) 经换向器向电枢绕组供电的交流电动机,又称交流换向器电动机(alternating current commutator motor)。交流整流子电动机有三相和单相两类,每一类又分很多种,但它们的工作原理基本相同,实际中主要应用的为三相异步换向器电动机

机和单相交流换向器电动机中的推斥电动机。

三相异步换向器电动机 常称为施拉盖电动机(schrage motor)。这是一种恒转矩交流调速电动机,可调节电动机的空载和负载转速,使电动机运行在同步转速以上或以下。其调速范围较宽,最高转速和最低转速之比通常3:1、6:1和10:1几种。它还可以改善功率因数,使最高额定转速时的满载功率因数,在无补偿时也能达到0.98左右。与一般三相笼型感应电动机相比,有较小的起动电流和较大的起动转矩,但满载效率稍低。与电磁调速异步电动机相比,它不仅能在空载情况下调速,而且有一定的调速范围。其性能指标与晶闸管电动机相仿。所以三相异步换向器电动机在纺织、印染、造纸、制糖和橡胶等工业中应用较多。主要缺点是结构较复杂,换向器的造价较贵,维护要求较高。

三相异步换向器电动机的原理如图所示。在转子上



三相异步换向器电动机原理图

1—定子三相绕组;2—调节绕组;3—一次绕组;4—集电环;5—换向器

上有两套绕组。一套是通过集电环与电刷和三相交流电源相连的一次绕组,作为一次侧,它可以接成三角形或星形;另一套是接至换向器的调节绕组,它通过电刷a1-a2、b1-b2、c1-c2与在定子上分开的定子绕组a、b、c分别串联成闭合回路,构成二次侧。

一次绕组通入三相交流电,在气隙内产生旋转磁场,它相对转子以同步转速 n_1 旋转,转子本身以转速 n 反向旋转,则磁场相对于定子绕组和换向器上的电刷的转速为转差转速 (n_1-n) ,从而在定子绕组中感应的电动势的频率为转差频率,这样,就将调节绕组的电网频率交流电动势,经换向器和电刷的变频作用,输出与定子绕组中电动势频率相同的转差频率电动势,满足了外加电动势必须与定子电动势频率相同才能调速的条件。

电动机的调速是依靠调节电刷a1-a2、b1-b2和c1-c2的张开角 α 来实现的。调节功率因数是依靠同时移动三对电刷对三个定子绕组的相对位置来实现的。如果将 α 调到零,即二次侧外加电动势等于零,此时便是一般三相异步电动机。当调 α 为非零的某一角度时,则在二次侧加入了附加电动势,如果附加电动势与定子电动势同相位,则转速升高,如果反相位,则转速下降。为了提高电动机的功率因数,在高于同步转速和低于同步转速运行时,在圆周上移动电刷的方向应该相反。

推斥电动机 一种单相交流换向器电动机。定子上具有连接单相电源的一次绕组,转子上具有接到换



向器的二次绕组,换向器上的电刷被短接,并可沿换向器圆周表面改变电刷位置。通过这一位置的改变,可以改变电机的转向、转速和机械特性。因为电机转向与电刷移动方向相反,故有推斥电动机之名。它与串励直流电动机的机械特性相似,用于驱动重载起动的机械负载,适于单相供电并要求调速和改变转向的场合。

推斥电动机还有其他结构:转子上具有两套电刷,其中一套固定而另一套可以移动的双套电刷推斥电动机,又叫载利电动机(deri motor);定子上的一次绕组通过换过向器上的第二套电刷与转子绕组串联,以改善功率因数和换向的补偿式推斥电动机;转子上具有附加笼型绕组的推斥感应电动机等。

参考书目

艾维超. 电机学, 北京: 机械工业出版社, 1991

(金啟玖)

jiāoliú zhíliú jiāoliú diǎnliúxíng biànphín tiáosù

交流-直流-交流电流型变频调速 (AC

motor speed control by AC-DC-AC current source converter)

采用交流-直流-交流电流型变频器实现交流电动机调速的技术。交流电动机的绕组极对数一定时,其同步转速与供电电源频率成正比,改变频率就能调节交流电动机的速度。交流-直流-交流电流型变频器就是将恒压、恒频的交流电,首先整流为电流源性质的直流电,然后逆变为变压变频的交流电,供电给交流电动机进行调速。交流-直流-交流电流型变频调速的示意框图如图1所示,变频器包括整流器、中间电感为主的滤波电路和逆变器,控制系统包括速度给定、电压控制和频率控制。

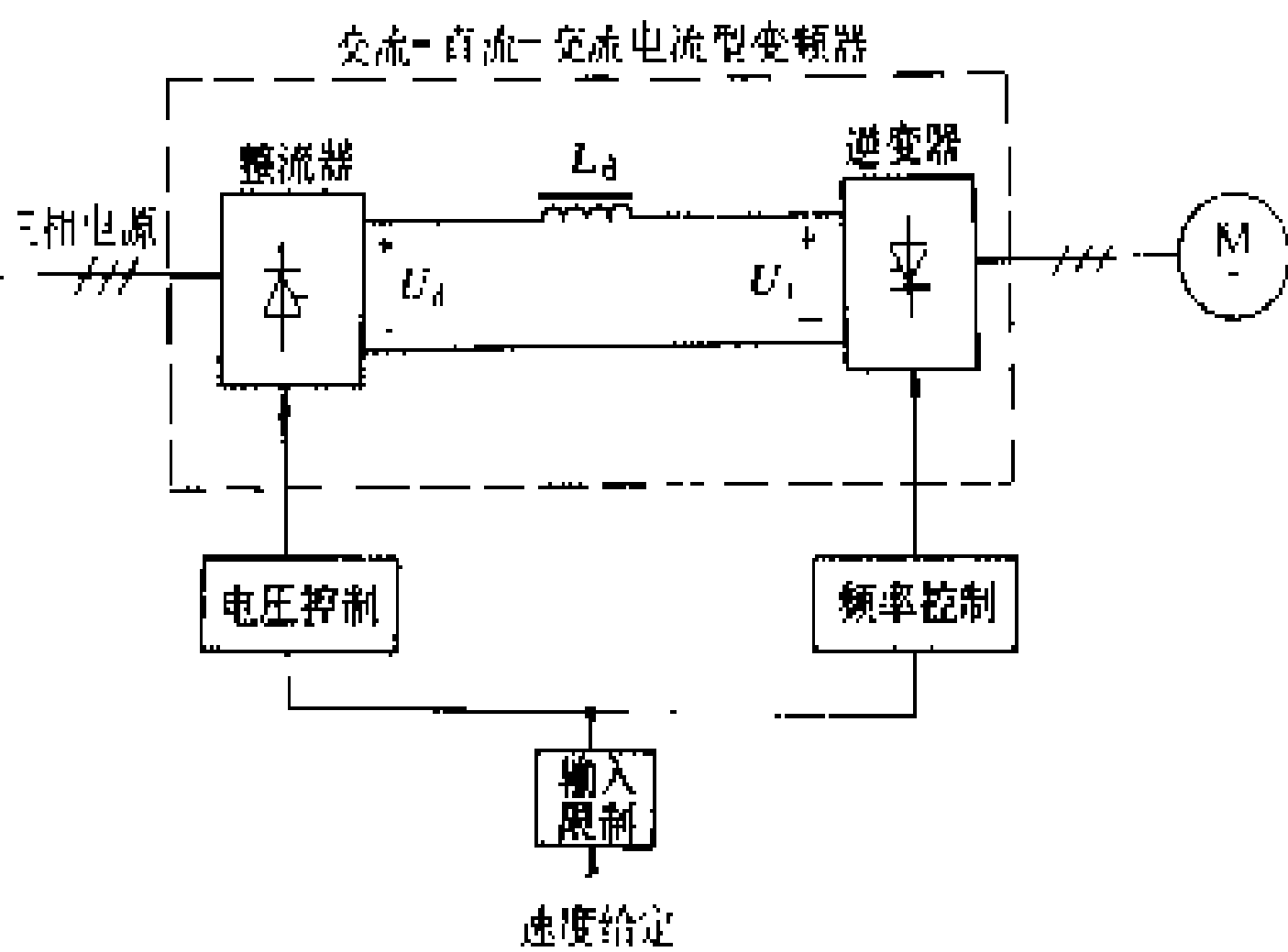


图1 交流-直流-交流电流型变频调速示意框图

变频器 交流-直流-交流电流型变频器中间直流回路经大电感滤波后,形成高阻抗内阻性质的电流源。与交流-直流-交流电压型变频器不同,其中间直流回路的电流方向,不随工作状态而改变,借助于电源侧和电机侧两套全控变流器,可以方便地实现四象限运行。因此,常称的整流器与逆变器,系指其主要工作状态下

各变流器的工作状态。由于电感的作用,使直流电流平直,逆变器输出给电动机的电流为方波。输出电压的波形随负载性质的不同而不同。对纯电阻性负载,显然也是方波;对感应电动机负载,电压波形则近似正弦波。交流-直流-交流电流型变频器的分类,主要是根据其换流方式来区分,常用的有串联二极管电流型变频器和带辅助换流晶闸管的电流型变频器。前者是利用换流电容器的充电作用以及二极管在不同时刻处于截止或导通的状态而换流;后者是利用辅助晶闸管通断和换流电容器充放电完成换流。由于在换流过程中,电机漏感要释放能量,使输出的正弦电压上叠加上一个幅值较高的尖峰电压。如在逆变器输出端设置一过电压吸收环节,可以吸收此尖峰电压,或利用大功率晶体管同时换流的逆变电路,也可减小尖峰电压。

除上述相控整流器、中间直流环节、逆变器构成的整流直流电压可调的电流型变频器外,还有不控整流器、滤波环节、斩波器、电感储能环节及逆变器构成的中间直流电压可调的电流型变频器,不控整流器、中间直流环节、幅值控制逆变器构成的电流型变频器,它们的区别在于电压控制的所在环节不同。

为了减少变频器输出的谐波电流及逆变器的换流容量,可采用多重化技术,即把多台普通的电流型变频器按某种方式并联,使各变频器输出的矩形波电流互相错开一定的电角度,输出电流为各矩形波电流叠加后的电流,即变成接近于正弦波的阶梯形电流。由于谐波分量的减少,损耗相应降低,也避免了低频时产生谐振的可能性,同时还扩大了调速范围。

控制系统 交流-直流-交流电流型变频调速的一种典型的控制系统,是比较简单的频率开环的控制系统

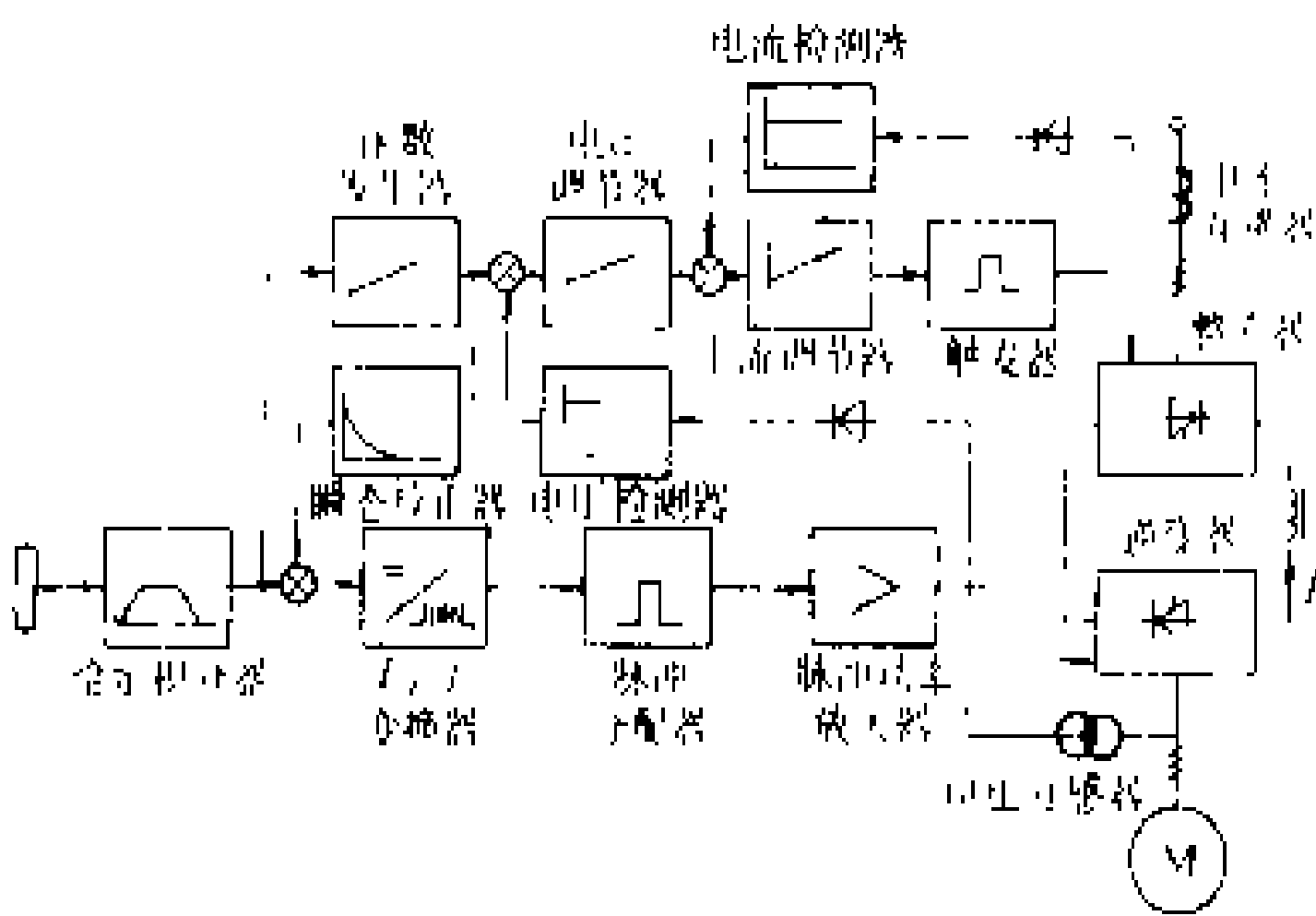


图2 频率开环的电流型变频调速系统框图 ($U/f = \text{常数}$)

统,如图2所示。电压和频率的基准信号,可由速度给定限位器设定。速度给定信号为阶跃变化时,为了能控制逆变器的输出电压和频率按一定的变化率改变,采用了给定积分器,将时间阶跃的输入变成斜坡函数的输出。其后分两部分:电压控制部分和频率控制部分。

电压控制部分的函数关系，使工频以下运行时近似地按电压频率比恒定进行调压，低频时有电压补偿（见变频调速）。设置了有电压反馈环节的电压闭环控制，由电压调节器按给定值严格控制输出电压，电压调节器输出与电流反馈量比较送入电流调节器，形成电流闭环控制。通过调节整流器输出直流电压，使逆变器输出电流不变，具有恒流源特性。由于逆变器输出电流为可变频率的电流，电流检测在整流器输入端进行。这种电压反馈为外环、电流反馈为内环的双闭环调节是电流源逆变器最简单、最典型的控制方式。当加上瞬态校正环节后，可以保证动态过程中保持恒电压频率比运行，改善了系统的稳定性。频率控制部分的 U/f 变换器是一种模数转换器，将电压信号变为频率信号（时钟脉冲信号）；脉冲分配器是将输入的时钟脉冲信号变换为周期性的循环脉冲信号，然后经过放大去控制逆变器晶闸管。由于时钟脉冲频率与速度给定值成正比，改变速度给定值即可调节逆变器的输出频率，从而调节交流电动机的速度。

采用这种简单的控制系统可以实现再生制动和能耗制动。再生制动时，可减小给定值，由于机械惯性，电动机的转速下降得比较慢，使电动机的转速高于同步转速，转子绕组与气隙磁通相对运动的方向改变了，从而使电动机进入再生制动状态。这时，逆变器的工作状态变为整流状态，可控整流器进入逆变状态，中间环节直流电压极性反向，电流方向保持不变。能耗制动时，断开电动机交流电源，定子任意两相通入直流电流，在气隙中建立一个固定不动的磁场，转子因惯性而继续转动，其绕组与固定磁场之间有相对运动并产生电流，该电流与气隙磁场相互作用，建立制动转矩。

控制系统中，如果加设正、反转检测和正、反转切换电路，可以无触点改变电动机转向，从而实现正向电动运行、正向再生运行，反向电动运行、反向再生运行等四象限工作。

应用 交流-直流-交流电流型变频调速的主电路和控制电路都较简单；当逆变器换流失败或负载短路时，可限制故障电流，能方便地实现四象限运行；但由于系频率开环控制，使其调速精度和范围都不高。因此，它多用于要求频繁但不急剧加减速或要求四象限运行的单台感应电动机，也可用于彼此特性相同的多台中、小型感应电动机。应用时应注意，当负载发生急剧大幅度变化时，可能使电动机进入不稳定区而造成停转。也可作为起动器，用于功率大而频繁起动的笼型感应电动机。同步电动机用作交流-直流-交流电流型变频调速运行时，为了使电动机在负载变动的情况下，逆变器输出电压相位也不会因此而改变，可检测输出电压的相位，通过锁相环控制，使之成为电压源特性。

在实际中常用这种控制方式使多台同步电动机同步运行。当应用于同步电动机单机运行时，多使用由交流-直流-交流电流型变频器供电的无换向器电机（见无换向器电机调速）。同步电动机通过励磁调节可以在领先功率因数下运行，从而可以利用电动机反电动势换流，使逆变器的结构简单、可靠、效率提高。但要注意在10%额定速度以下时，反电动势较小而无换流能力，即欲起动电动机必须采取某些简单的强迫换流措施。对于调速精度和范围要求高的交流电动机调速系统，当应用交流-直流-交流电流型变频调速时，应采用其他控制方式，如矢量控制方式（见交流电动机矢量控制）。

参考书目

何冠英编著，电子逆变技术及交流电动机调速系统，北京：机械工业出版社，1985

（施传立）

jiaoliu zhi Liu jiaoliu dianyaxing bianpin tiaosu
交流-直流-交流电压型变频调速 （AC motor speed control by AC - DC - AC voltage source converter）

采用交流-直流-交流电压型变频器实现交流电动机调速的技术。交流电动机的绕组极对数一定时，其同步转速与供电电源频率成正比，改变频率就能调节交流电动机的转速（见变频调速）。交流-直流-交流电压型变频器，就是将恒压、恒频的交流电，首先整流为具有电压源性质的直流，然后逆变为变压变频的交流电源，供电给交流电动机进行调速。交流-直流-交流电压型变频调速的示意框图如图1所示，变频器包括整流器、中间电容为主的滤波电路和逆变器，控制系统包括速度给定、电压控制和频率控制。

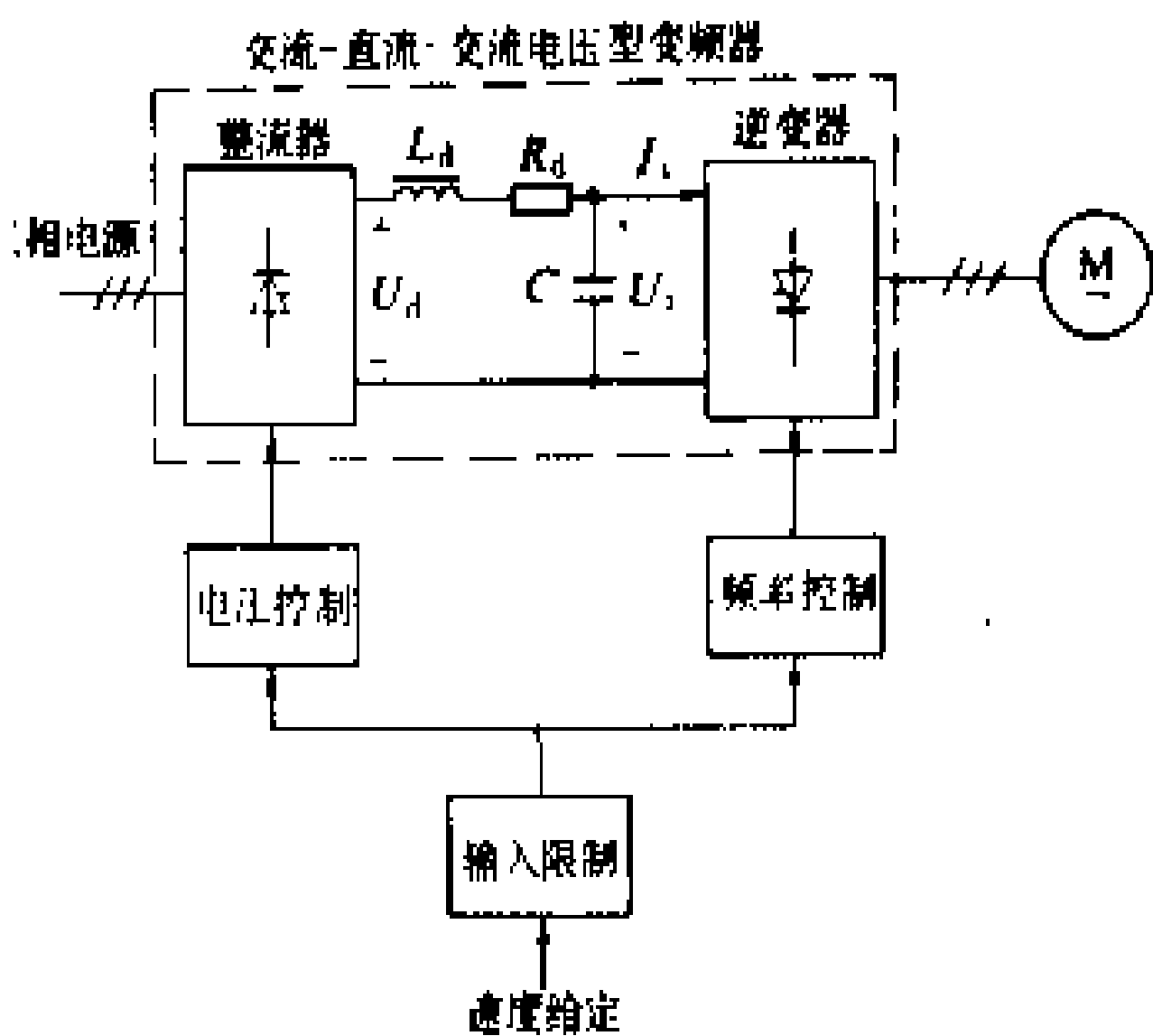


图1 交流-直流-交流电压型变频调速示意框图

变频器 交流-直流-交流电压型变频器中间直流回路里滤波电容的电容量很大，为直流侧储能环节，由于电容的作用，使直流输出电阻很小。因此，电动机的端电压波形为方波。这个电压加在感应电动机定子端，

使其电流只是近似正弦波。交流-直流-交流电压型变频器的分类,主要是根据其换流方式来区分,常用的有串联电感式电压型变频器和带辅助晶闸管换流的电压型变频器。串联电感式电压型变频器电路中,当某臂的晶闸管触发导通时,在电感的作用下,使该相另一臂的晶闸管承受反向电压而关断。带辅助晶闸管换流的电压型变频器电路中,主晶闸管的关断是靠触发辅助晶闸管来实现的。前一种变频器的负载越重时,换流越困难,不适于负载变化剧烈的场合,不带输出变压器时的容量常小于 $15 \text{ kV} \cdot \text{A}$; 为保证电压频率比为常数,当频率下降时,电压也要求下降,频率低到 $1/3 \sim 1/4$ 工频以下,换流电容储能不足,故不适于低频工作,使调速范围变窄。后一种变频器的换流电容上的电压会随负载加大而提高,使换流能力较少地受负载变化的影响,与前一种变频器比较,其换流损耗要少,效率较高,更适于较高频率和较大容量的情况,其应用较多。

除上述由相控整流器、中间直流环节和逆变器构成的整流直流电压可调的电压型变频器外,还有由不控整流器、滤波环节、直流斩波器、储能环节和逆变器构成的中间直流电压可调的电压型变频器,由不控整流器、中间直流环节和脉宽调制逆变器构成的不控整流、脉宽调制电压型变频器(见交流脉宽调制变频调速),它们的区别在于电压调节所在的环节不同。

如果使用可关断晶闸管,由于具有良好的可断性和快速性,利用它作为逆变器开关时,将使变频器主电路大为简化,省去了复杂的换流电路,降低了故障率,运行可靠性大为提高。

为了改善交流-直流-交流电压型变频器交流输出的波形,使电动机在低速范围内也能平滑运行,同时又减少损耗,提高效率,可采用多重化技术。对高压大容量的电动机和旧有电动机,在负载转动惯量大、谐振倍率高、容易出现轴共振及过电压的情况下应用时,通常采用错开逆变器相位的三相桥多重连接。

控制系统 交流-直流-交流电压型变频调速的一种典型控制系统,是比较简单的电压闭环、频率开环的控制系统,如图2所示。整流器为三相全控桥,逆变器

采用辅助晶闸管换流的变频器。控制系统包括整流器的电压控制部分和逆变器的频率控制部分。电压和频率的改变是来自同一个给定信号,即速度给定信号。为了在速度给定信号即使作阶跃变化的情况下,也能控制逆变器的输出电压和频率按一定的变化率改变,采用了给定积分器,将时间阶跃的输入变成斜坡函数的输出。其后分作两路:电压控制部分和频率控制部分。电压控制部分的函数发生器的函数关系是使电动机在工频以下运行时近似地按电压频率比恒定进行调压,低频时有电压补偿措施;电压调节器的限幅值可在工频以上保证电压恒定,实现近似恒功率调速;电压控制环节是最简单的带电压负反馈的移相控制系统。频率控制部分的 U/f 变换器是一种模数转换器,将电压信号变为频率信号(时钟脉冲信号);环形分配器是将输入的时钟脉冲信号变换为周期性的循环脉冲信号,其输出分别控制逆变器主晶闸管和辅助晶闸管;由于主晶闸管触发导通必须在同一桥臂上的晶闸管可靠关断之后,故加设延时器以延时 $150 \mu\text{s}$ 左右;脉冲信号经高频脉冲发生器高频调制后形成宽脉冲,以保证主晶闸管稳定导通 180° 。当升高或降低电动机转速时,可加大或减小速度给定值,控制系统将按照给定值和相应的 U/f 关系调节变频器的输出电压和频率,增加或减小电动机的转矩,使电动机加速或减速,并稳定在要求的速度下运行。根据调速的需要,可以加入由速度检测、速度比较和速度调节等构成的速度反馈环节,形成速度闭环系统。反之,在要求不高的条件下也可以取消电压反馈环节,由函数发生器的输出直接控制触发电路,实现电压开环控制。

应用 交流-直流-交流电压型变频调速多用于不要求四象限运行的场合。一方面,可省去整流侧的反并联晶闸管三相桥,从而简化系统;另一方面,电动机制动时消耗的能量也不太大。如果要求系统四象限快速可逆运行,最好采用电流型变频调速系统。此外,电压源逆变器内阻抗小,输出电压比较稳定,适宜于同时为多个负载供电,例如,多机拖动系统,此时负载间的影响较小。如果应用于风机水泵类的二次方转矩负载,可将电压从正常的 U/f 比降低控制,从而提高感应电动机效率,达到节能的目的。在应用中,应当注意开环控制下的感应电动机运行在低频(约 25 Hz 左右)时,由于电动机的转子动能与滤波电感、电容之间发生能量交换,可能出现不稳定现象。一般来说,转动惯量愈大,滤波环节电阻、电容愈大,电动机转子电阻愈大,整流器换流电抗愈大,调速系统运行趋于稳定。因此应适当地调整电动机和逆变器的参数,或用电动机电压或直流环节电流微分反馈或转矩分量反馈电路来阻尼振荡,提高运行的稳定度。

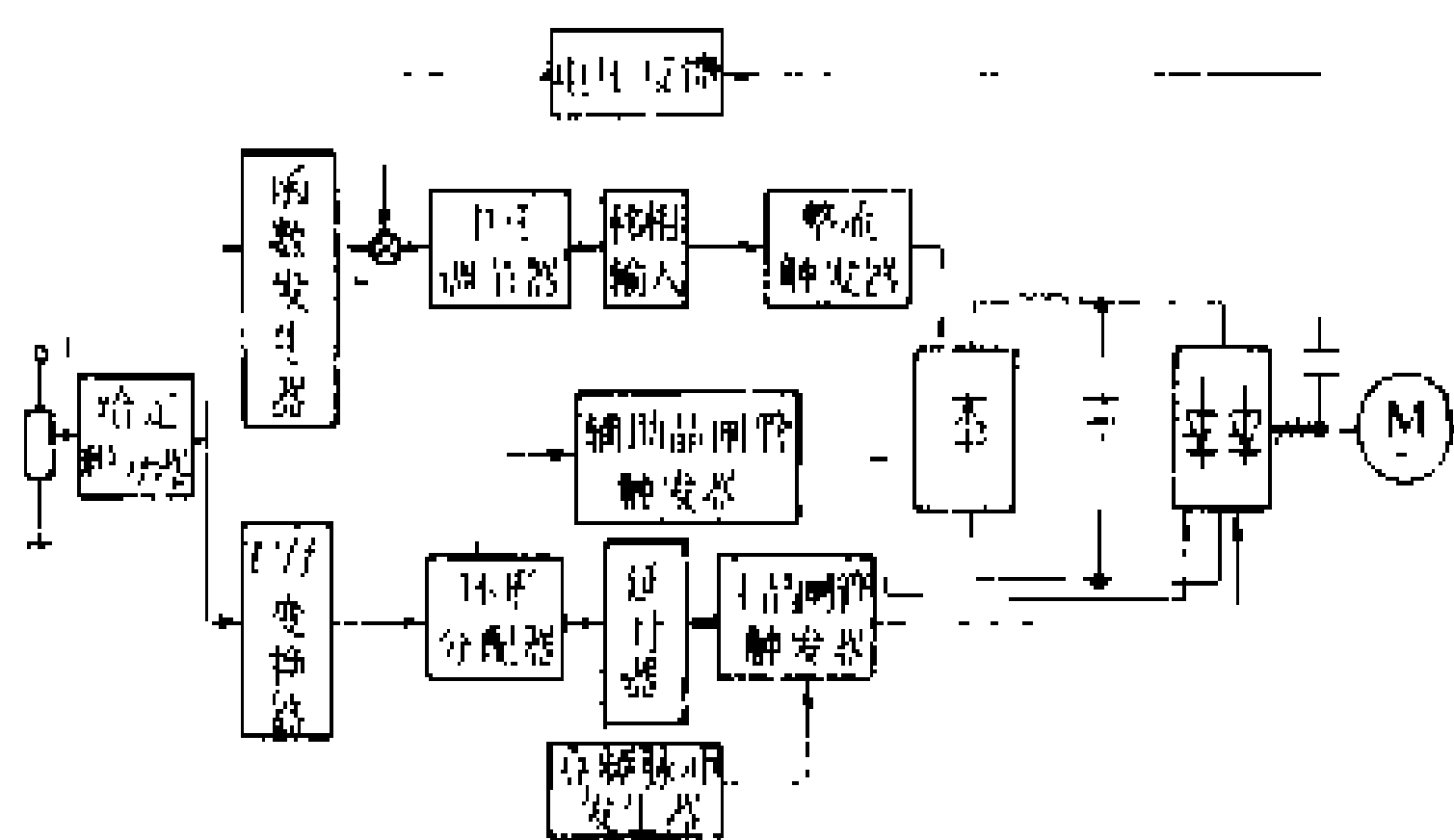


图2 交流-直流-交流电压型变频调速控制系统



交流-直流-交流电压型变频调速可以用于感应电动机,也可以用于同步电动机。电压源逆变器-同步电机调速系统的主回路及控制回路与感应电动机调速系统完全相同,只是增加了一个励磁电流调节回路。如纺织机上的数十个计量泵,每个泵由一台永磁式同步电动机拖动,要求数十台电动机严格同步运行,则可采用交流-直流-交流电压型变频调速,实行多机协调控制。同步电动机低频运行时固有的运行不稳定性和同步电动机与变频器之间的相互作用,开环控制下的同步电动机运行同样会出现不稳定问题。电动机电枢漏抗的加大,励磁电流的减小,d、q轴电抗差别的减小,电枢电阻的减小,转子转动惯量的加大,都会使运行愈趋于稳定。因此,也应注意参数的配合和采用闭环控制以提高稳定度。

参考书目

刘竞成主编. 交流调速系统. 上海: 上海交通大学出版社, 1984
佟纯厚主编. 交流电动机晶闸管调速系统. 北京: 机械工业出版社, 1988

(施传立)

jiatong yunshu yongdian

交通运输用电 (electrical energy utilization of transportation) 用于货物、旅客输送作业消耗的电力。交通运输用电一般分为交通枢纽类用电和以电为动力的输送类用电,包括铁路、公路、水运、航空以及长输管道等的用电,但不包括属于市政公共设施的地下铁道、公共汽车、电车等用电(见市政公共设施用电)。1990年中国交通运输概况如表所示。1990年中国交通运输用电量为94.7亿kW·h,占全国用电量的1.81%。

1990年中国交通运输概况

类 别	运营里程 (万 km)	货运量 (万 t)	客运量 (万人)
铁路	5.34	150681	95712
其中电气化	0.69		
公路	102.83	724040	648085
内河通航	10.92	80094	27225
民用航空	50.68	37	1659.6
其中国际	16.64		
长输管道	1.59	15750	
其中:原油	0.7767	13174	
成品油	0.09174	1557.9	
天然气	0.6869	925.2	
其他气体	0.034	93.4	

注:摘自国家统计局1991年《中国统计年鉴》。

重要交通枢纽的通信信号、导航设施,运输繁忙的重要电气化铁道牵引站、长输管道的首末站,不能越站的中间站等的用电负荷为重要负荷,应设保安电源,保证不间断供电。

用电概况 交通枢纽类主要包括铁路枢纽、水运码头、航空港以及公路站点。这类场所的用电有通信信号、导航、人员乘降、货物装卸运送设备和辅助设备用电以及旅客候车,站台,营业,运输调度站、场的照明等用电。以电为动力的输送类用电有电气化铁道的牵引站和长输管道的首站、中间站等用电。

长输管道是使用压力促使气体、液体乃至固体在密闭管道内输送,如原油管道、成品油管道、天然气管道、输煤管道等。输送液体是依靠电拖动泵类,输送气体是依靠电拖动压缩机类;输煤管道是将煤炭破碎制浆,用泵输送浓度为50%左右的水煤浆,送达地点再脱水。由于长输管道距离长,压降大,除首站加压外,在一定距离还需设中间加压站,以维持输送压力。

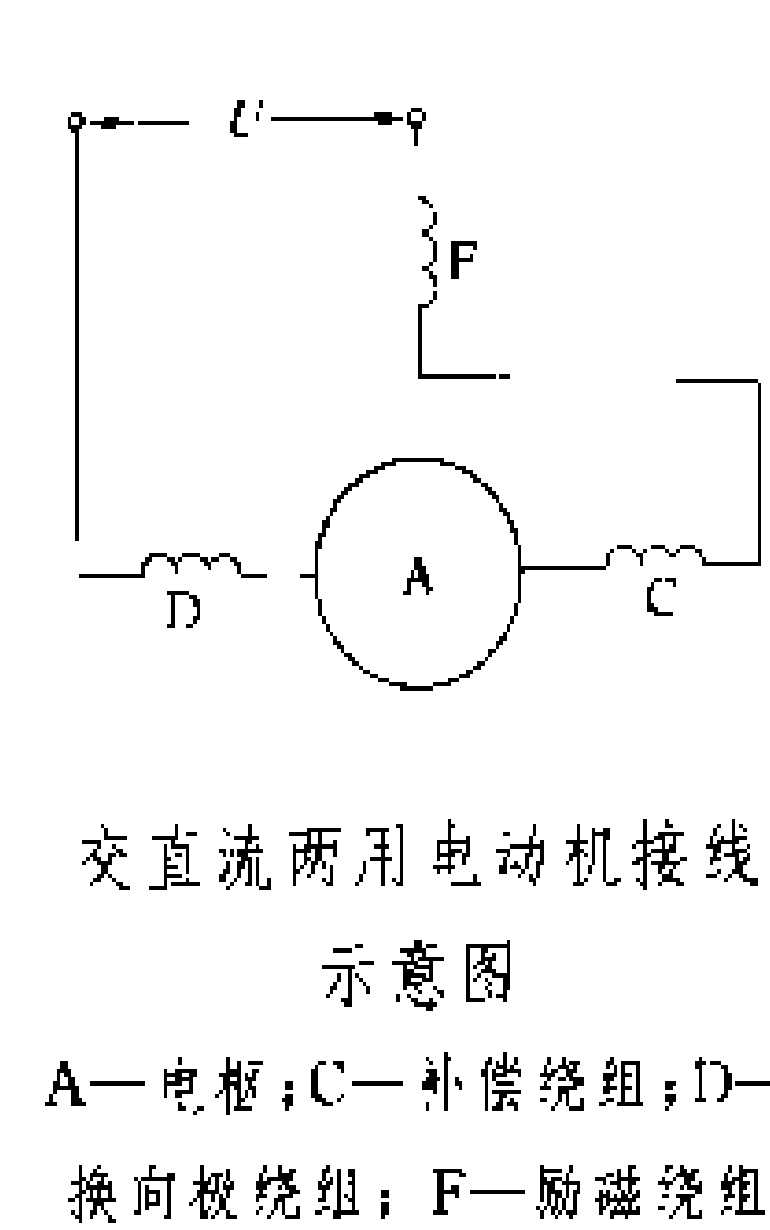
用电特点 交通枢纽站用电负荷曲线随运输繁忙程度而异,由于大量使用感应电动机,因而用电功率因数较低,需要进行无功补偿。电气化铁道用电负荷随行车密度和路径平坦程度有较大波动,用电功率因数较高,但由于是单相供换流设备用电,因而不对称负荷、非线性负荷对电力系统有影响,需要防治(见电力牵引负荷特征),用电单耗约100~120kW·h/(万t·km)。长输管道用电基本上是等负荷24h运行,日用电负荷率高,首站、中间站多使用同步电动机,功率因数较高。

(顾嘉果)

jiaozhiliu liangyong diandongji

交直流两用电动机 (universal motor)

既可用直流电源,又可用单相工频交流电源供电的电动机,亦称通用电动机。图中给出了它的接线示意图。这种电动机的结构与串励直流电动机相似,只是为了



减小交流运行时的铁损,定子铁芯由厚度为0.5mm的硅钢片冲制的凸极形定子冲片叠压而成。定子上除励磁绕组F和换向极绕组D外,还有补偿绕组C,用以限制交流运行时电枢绕组产生过大的电抗压降并改善换向。为了使电动机在相同的交流电压或直流电压下额定负载的转速值接近,当接在直流电源上时,须增加



励磁绕组匝数,一般增加的匝数串在每个交流励磁绕组的出线端。

交直流两用电动机接直流电源时,磁通和电枢电流方向不变,电磁转矩的方向也不变;接交流电源时,虽然磁通和电枢电流的大小和方向不断改变,但由于二者是同时改变的,所以它们所产生的电磁转矩的方向是不变的。

交直流两用电动机的机械特性和串励直流电动机相似,起动转矩大。它可用简单的方法调速:在额定转速以下时,用改变电枢端电压的方法;在额定转速以上时,用改变磁通的方法。这种电动机体积小,重量轻,转速高,广泛应用于有单相交流电源、转速高的场合,如医疗机械、小型机床、电动工具、缝纫机、吸尘器、磨粉机、绞肉机等家用电器中。

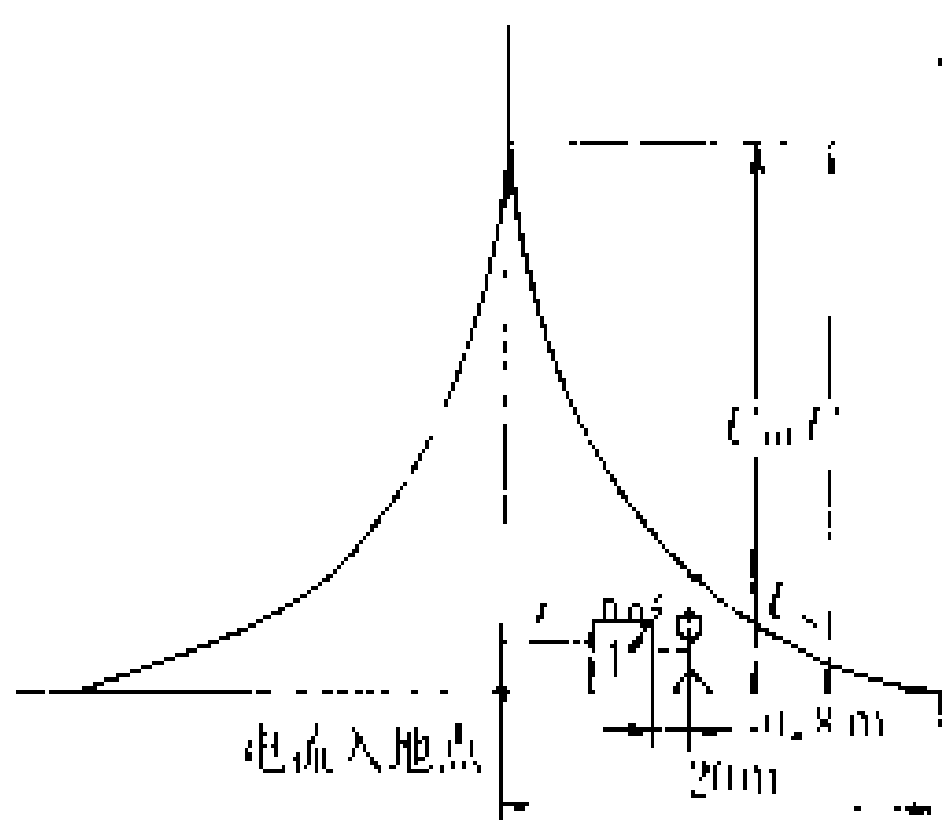
(金啟政)

jiechu dianya

接触电压 (touch voltage) 当电气设备发生单相绝缘损坏时,人手接触电气设备处与站立点间的电位差。电气设备或架构的外壳一般都与接地装置连接,当电气设备单相绝缘损坏时,将有接地电流流过接地装置,在大地表面上形成了以电流入地点为中心的双曲线形状的分

布电位。这时人手接触电气设备处的对地电位即为设备外壳的对地电位 U_d ,人脚站立处的对地电位为 U_g ,两者之差即为接触电压 $U_w = U_d - U_g$,

如图所示。接触电



接触电压示意图

压通常取地面到设备水平距离为 0.8 m 处与设备外壳离地面垂直距离为 1.8 m 处两点之间的电位差。接触电压主要产生于接地短路电流,也可能来自雷电流。接触电压值可通过计算或实测得到,其数值不应超过规定的安全电压值。当人体站在距电流入地点 20 m 以外,与带电设备外壳接触时,接触电压达到最大值。

降低接触电压的措施有:①在架构设备外壳周围约 1 m 的地中,埋设 20~30 cm 的辅助接地线,并与主接地线相连接;②铺砂砾或浇混凝土或敷沥青地面以提高地表面电阻;③敷设水平均压带。

(陈金盛)

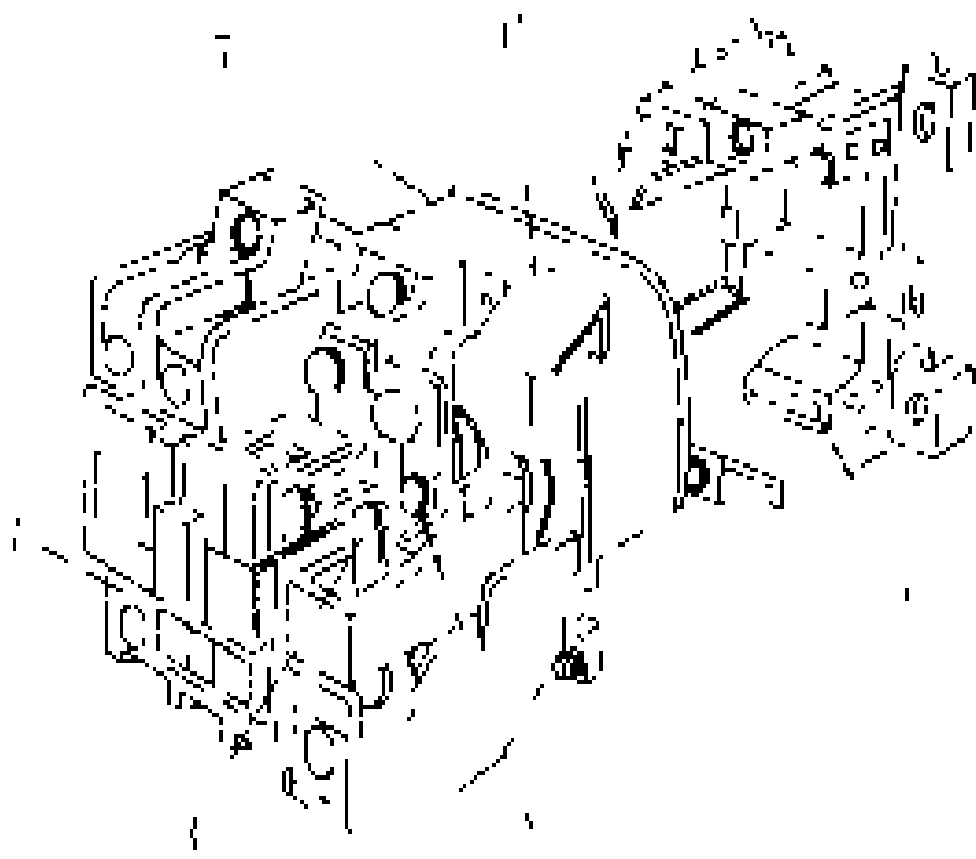
jiechuqi

接触器 (contactor) 在正常电路条件下(包

括操作过载,例如电动机起动过程)可以频繁地接通、承载或分断电流且可以远距离控制的非手动开关电器(见低压电器)。接触器的主要控制对象有交流电动机、直流电动机、照明灯、电阻炉等。在自动控制与电力拖动系统中,有时要求电动机连续地进行起动、停止或改变转动方向,因此要求接触器有较高操作频率和较高工作寿命。

接触器的技术参数有:额定工作电压、额定工作电流或额定工作功率(指负载功率)、额定工作制(又分为 8 小时工作制、长期工作制、间断周期工作制或间断工作制和短时工作制)、使用类别(用以区分使用负载性质,如电阻性负载、滑环电动机负载、笼型电动机负载以及直流并励或串励电动机负载)、额定接通电流能力、额定分断能力、电寿命与机械寿命等。

分类 ①按被控电路电流性质可将接触器分为直流接触器和交流接触器。有些产品设计成既可用于直流电路也可用于交流电路,即交直流接触器。②按级数可将接触器分为单极、二极、三极等。直流接触器仅有单极和二极的,交流接触器多为三极的。③按灭弧介质可将接触器分为空气式、油浸式和真空式。空气接触器的触头置于大气环境中,以空气作为灭弧介质;油浸接触器的触头置于绝缘油中,以油作为灭弧介质;真空接触器的触头置于真空灭弧室中,以真空作为绝缘介质。一般空气接触器和油浸接触器装有隔弧板或灭弧室,用以熄灭触头在通断电流时产生的电弧,而真空接触器触头间的电弧在密封的真空灭弧室中熄灭,因而真空接触器可直接用于有易燃、易爆粉尘或气体等场所,如煤矿井下和化工厂等。④按驱动机构可将接触器分为电磁式、液压式和气动式。电磁接触器是用交流或直流电磁机构驱动的,电磁机构由铁芯和线圈组成,线圈通电时,电磁铁产生电磁吸力,衔铁吸合带动触头支架使触头动作,这种型式的接触器使用最为普遍,如图所示;液压接触器通常用油通过液压机构来驱动触头的动作;气动接触器用压缩空气作驱动源。⑤按有无触头可将接触器分为有触头接触器和无触头接触器。有触头的也称为机械接触器,无触头的也称为半导体接触器(见无触点开关)。



交流电磁接触器结构图

1—电磁铁铁芯;2—静触头;3—动触头;4—压塑外壳;5—吸引线圈;6—线圈

图数据

交流电磁接触器无声运行 在许多使用场合下, 为了降低交流电磁接触器电磁机构的功率损耗和减少电磁机构吸合时的噪声, 推广交流电磁接触器无声运行。无声运行的基本原理是: 当交流电磁机构的衔铁吸合后, 将线圈的交流供电改为直流供电, 因衔铁吸合后保持一定的电磁吸力所需的励磁电流很小, 故改为直流后可大大降低功率损耗, 并消除了因交变电流引起铁芯的振动而产生的噪声。交流电磁接触器无声运行后, 线圈消耗的功率只有原来的 20%~30%, 节能较显著, 但操作频率较高时, 节能效果不大。

(方鸿发)

jiedi zhuangzhi

接地装置 (ground) 电气设备需接地的部分与大地连接的装置。为了防止电气设备万一绝缘损坏而带电危及安全, 需将电气设备外壳通过金属导线与接地装置连接。接地装置将电气设备可能产生的短路电流、漏电流、静电荷以及雷电流引入大地, 从而避免人身触电等事故的发生。

接地装置包括接地体和接地线(见图)。其电阻由接地体电阻、接地线电阻及土壤电阻构成。由于土壤电阻系数比较固定, 接地线的电阻较小, 所以选用良好的接地体是决定接地装置电阻的关键。

接地体 与大地直接接触的金属导体。它可以分为自然接地体和人工接地体。

(1)自然接地体。不是专门为接地设置的有效接地连接体, 如用来作为接地装置接地体的, 称为自然接地体。敷设在地下的水管、其他非可燃液体及非可燃或非爆炸气体的金属管道、自流井插入管、钻管以及建筑物和构筑物的金属结构、电缆外皮等都可作为自然接地体。自然接地体分布面广, 并联后的电阻有时可能极小, 且利用起来经济方便。所以首先选用自然接地体作为接地体。

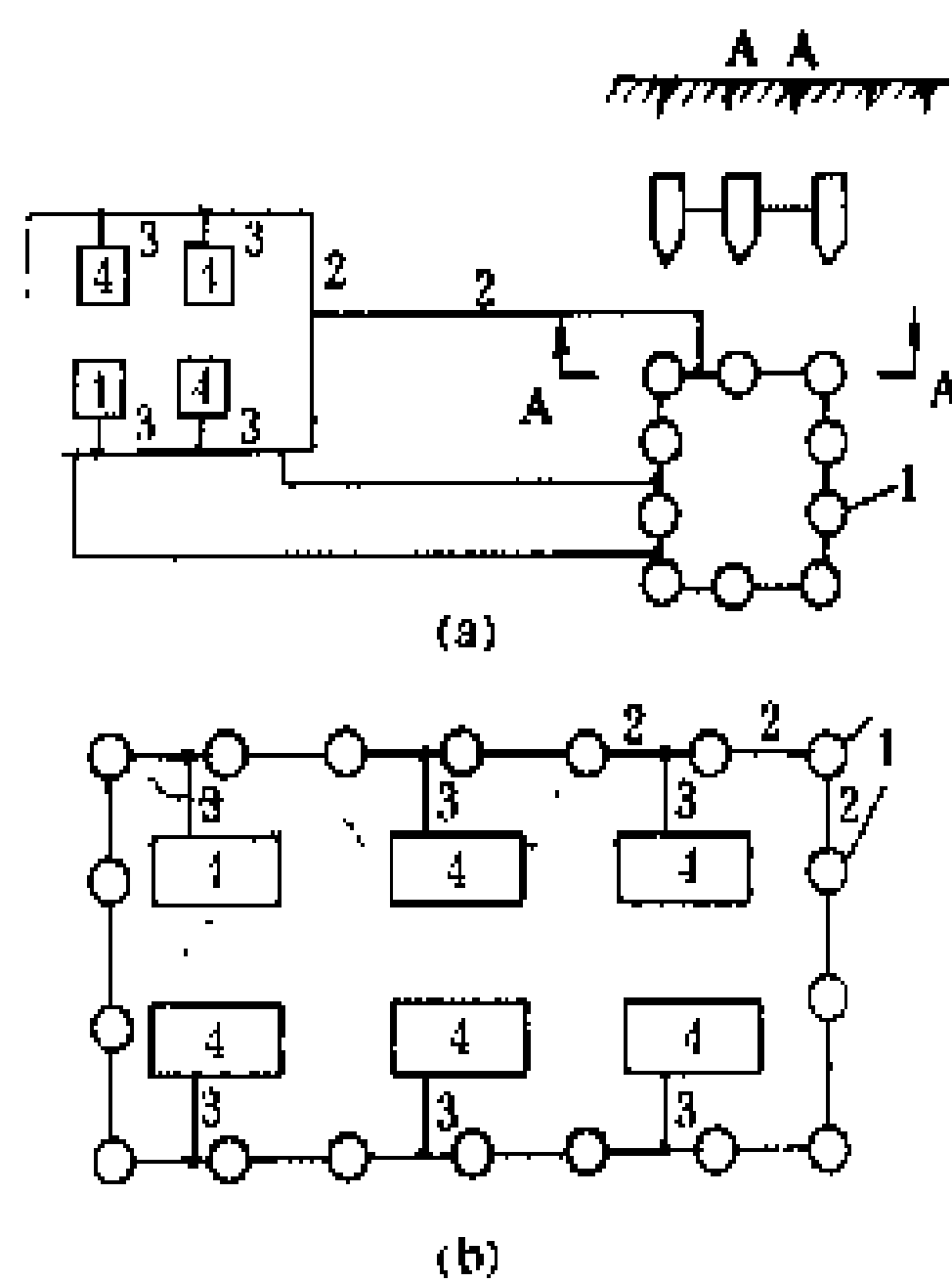
(2)人工接地体。当自然接地体的接地电阻值不能满足规程规定的接地电阻值时, 人为地埋入地下的专用接地体称为人工接地体。常用的人工接地体有垂直埋入地下的钢管、角钢, 水平放置的圆钢、扁钢等。由于钢管机械强度高, 容易垂直打入地下, 一般情况下可选用直径 50 mm、长度 2.5 m 的钢管。接地体顶部距地面 500~700 mm, 以减小外界温度、湿度变化对其阻值的影响。

单根接地体的接地电阻与型钢品种、接地体总长、埋深、尺寸、埋置方法等有关。为了实现规程规定的预期电阻值, 需采取多根接地体并联, 这时, 单根接地体间可以用扁钢连接。接地体间的距离, 一般取为单根接地体的长度, 以减小电磁屏蔽作用。

接地体可以集中敷设在户外, 然后从接地干线 2 引入户内, 再从接地支线 3 引至电气设备[见图(a)]; 也可以将接地体沿电气设备环形敷设[见图(b)]。

接地线 电气设备与接地体间连接的导体。接地线也分自然接地线和人工接地线。

(1)自然接地线。建筑物的金属结构, 如梁、柱、桁架等, 生产用的金属结构, 如吊车轨道、配电装置外壳、金属走廊及平台、电梯竖井、起重机及升降机的构架、布线用钢管、电缆外皮等, 都可以作为自然接地线。在设计中为了节约金属, 减少施工费用, 也应尽量采用自然导体作接地线, 但应将其连接牢固, 严防锈蚀折断, 对局部连接不可靠处应加型钢并联补强。



接地装置示意图

(a)集中型外引式接地装置;(b)环形接地装置

1—接地体;2—接地干线;3—接地支线;4—电气设备

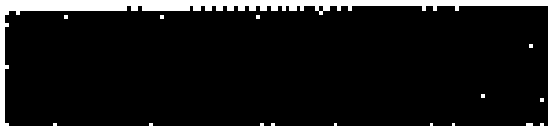
(2)人工接地线。只有当自然导体在运行中电气连续性不可靠或有发生危险的可能, 以及阻抗较大, 不能满足接地要求时, 才考虑采用人工接地线。在选用人工接地线时, 除了其电阻值要达到设计要求外, 还应检验通过故障电流时的热稳定及机械强度。

(苏文成)

jiedian

接电 (connected electricity) 供电企业将申请用电者的受电装置接入供电网的行为。接电后, 用户合上自己的开关, 即可开始用电。这是办理用电申请的最后一道程序。一般安装电能计量装置与接电同时进行, 故又称装表接电。接电后, 报装工作结束, 供用电关系确立。

实施接电前, 申请用电者一般已具备以下条件: ①新建的外部供电工程已验收合格; ②用户受电装置已竣工检验合格; ③工程款及其他费用结清; ④供用电有关协议(合同)都已签定(见供用电合同和供用电协议); ⑤电能计量装置已检验安装合格; ⑥用户电气工



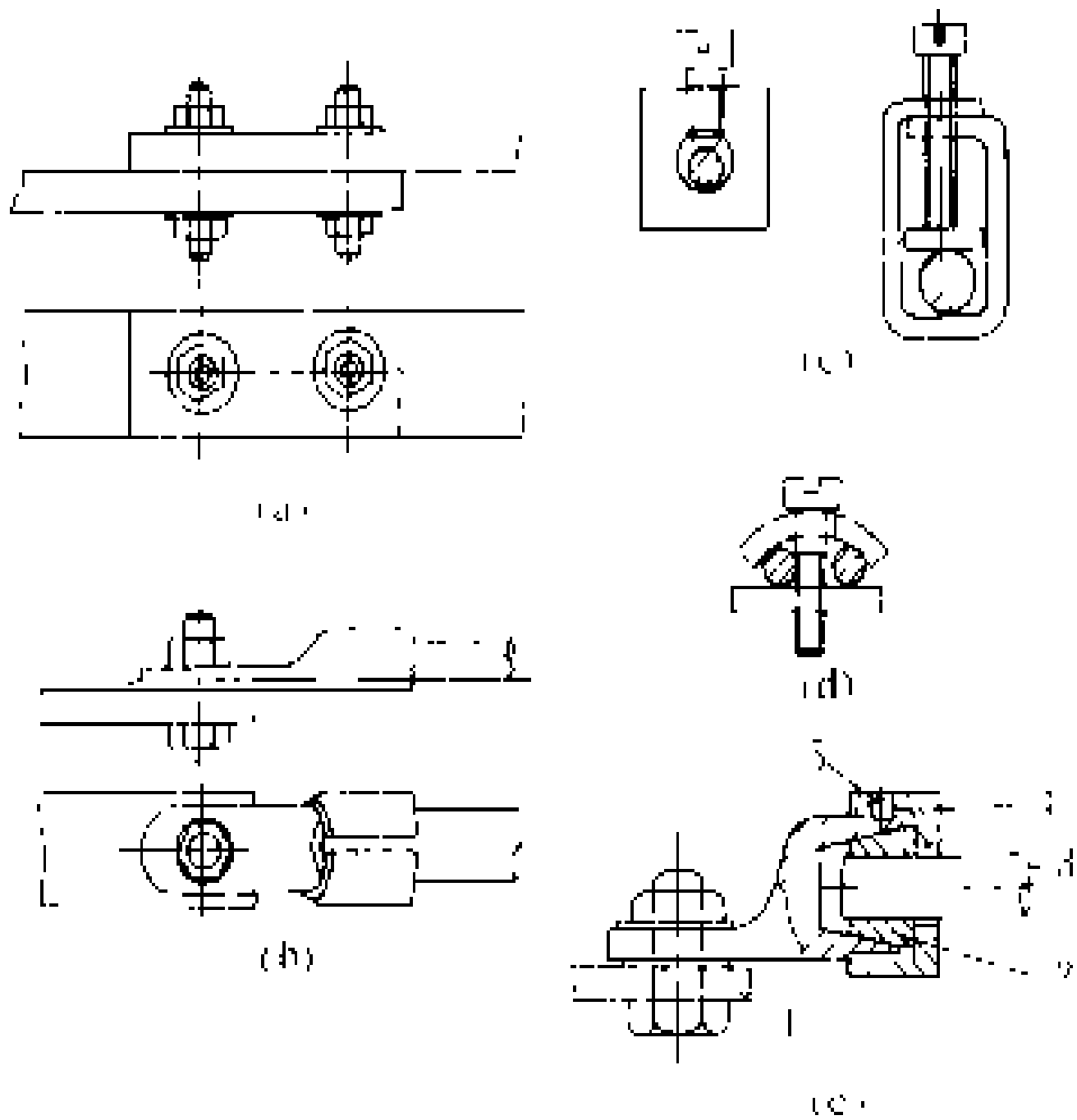
作人员考试合格并取得证件,⑦安全运行规章制度已经建立。

(王世煜 顾嘉来)

jiexian duanzi

接线端子 (terminal) 与外部电路进行固定电连接的电器导电零部件。任何电气设备与元件在电路中都要与其他设备或元件相连接,用来连接一个或两个以上导体并且是不经常拆卸的连接均采用接线端子。用接线端子进行连接要求连接牢固,并应保证长期接触电阻要小,以防止连接处松动和通电后过热。用接线端子实现的连接形式有平板形导体的连接、平板形导体与圆形导体的连接、圆形与圆形导体的连接、导线末端与电器接线端的连接等。

常见的接线端子有螺钉型、接线头(线鼻子)式、柱式、瓦形垫式、非螺钉型(五种接线端子的示意图见图),以及二次配线使用的端子排和电器安全接地用接地端子。



接线端子示意图

(a)螺钉型接线端子;(b)接线头式接线端子;(c)柱式接线端子;(d)瓦形垫式接线端子;(e)非螺钉型接线端子
1—矩形母线;2—楔形套管;3—圆形导体;4—金属套盖;
5—止动螺钉

(1)螺钉型接线端子。如对矩形母线的连接,应根据母线尺寸的大小选择适当的搭连面积、螺钉数量和压力,以保证母线间有小的接触电阻。

(2)接线头(线鼻子)式接线端子。如通过螺钉、螺帽紧固的母排或电缆头的接线端子。

(3)柱式接线端子。导体插入孔内或型腔内,用螺钉下端或通过垫圈、夹紧板压紧。

(4)瓦形垫式接线端子。导线插入瓦形垫下端的一侧或两侧,通过螺钉下拧而压紧。

(5)非螺钉型接线端子。其连接可直接或间接地通

过弹簧、楔形块、偏心轮或锥形轮来完成。图(e)为一种采用楔形套管连接的非螺钉型接线端子。带内螺纹的金属套盖拧紧时通过楔形套管压紧圆形导体,最后用止动螺钉锁紧。

(6)端子排。开关柜中二次配线中的端子排也是常见的一种接线端子,其数量和长短可任意组合。开关柜中使用端子排来连接控制线路的主要目的是便于安装、查对及检修线路以及连接柜内与柜外电路。

(7)接地端子。用特定连接保证电器的一部分接地用的接线端子。它有明显的标志,其螺钉尺寸等符合安全要求,安装位置方便。

(方鸿发)

jiedianliang

节电量 (amount of electricity saving)

以统计期内电能实际消耗量与某一基准量相比而减少的数量。节电量分为宏观节电量和微观节电量。

宏观节电量 从整个国民经济全局出发来考察的节电量。它是考核主管部门或地区节电工作的主要指标,不仅包括微观节电量,也包括因经济结构调整、产品用能结构变化以及原材料节约、产品加工深度提高、产品质量改善、劳动生产率提高、综合利用等间接因素所节约的电量。宏观节电量用于制订长期节电规划和确定长期电能供需平衡的预测,以及规划目标与年度计划相互衔接,从宏观经济角度来研究电能利用的经济效果。

微观节电量 指企业的直接节电量,是企业通过加强用电的科学管理,改进工艺,改造设备,采用新技术、新工艺、新材料,减少电能损失,降低单位产品(产值)耗电,提高电能利用率等方面直接减少的用电量。微观节电量用于评价企业合理用电工作成绩的优劣以及研究企业节电潜力和相应的开发措施,以保证企业更加经济合理地使用电能。

微观节电量分为产品节电量、产值节电量、技术措施节电量和其他节电量。

(1)产品节电量。降低单位产品耗电而减少的用电量。它反映了企业在生产经营活动中,采用节电措施的综合节电效果。由于单位产品耗电统计计算口径的一致性,使得产品节电量对不同地区相同类型企业之间具有一定的可比性。

(2)产值节电量。降低单位产值耗电而减少的用电量。单位产值耗电是以货币单位(万元)形式表示的。除了生产技术与管理因素外,还有其他因素影响产值电耗的高低,如产品结构的变化、外协作的增减等。产值节电量不如产品节电量反映企业真正的节电效果,对于同类型企业产值节电量也缺乏可比性,但对于产品



种类繁多,生产周期长,又难以按单位产品耗电计算节电量的企业(如机械企业),其产值节电量,仍然是评价企业合理用电工作成绩的方法之一。

(3)技术措施节电量。通过设备更新或改造、生产工艺改革、操作方法改善等措施,使电能利用率提高、产品的产量增加、生产时间缩短而减少的用电量。对企业来说,技术措施节电量应包括在产品节电量之中,若未包括在内,则应单列作为技术措施节电量统计。技术措施节电量在统计时,应避免与产品节电量重复计算。

(4)其他节电量。产品节电量、产值节电量、技术措施节电量以外的节电量,如非生产用电的节电量、新产品开发和研制,使产品产量、质量提高带来的节电量、基建工程施工用电的节电量、降低供电线损的节电量和自备电厂厂用电的节电量等。

(瞿克俊)

jiedian xiaoyi pinggu

节电效益评估 (electricity saving assessment of benefit)

在实施节电技术措施项目和投资之前,进行技术上的合理性、可行性和经济效果优劣的综合分析及测算。企业为了进行合理用电而采用的技术措施项目需要投入一定的资金,首先应按经济效益评估方法标准,进行节电效益评估,以便以较少的人力、物力和财力,取得较大的效益。节电效益的评估方法可分为以下几种:

(1)净现值与净现值率法。净现值是按基准收益率 I_c (财务评价)或社会折现率 I_s (国民经济评价),将计算期各年的净现金流量折现到建设初期的现值并求和;净现值率是净现值与全部投资现值之比,即

$$NPV = \sum_{t=1}^n (CI - CO)_t (1 + I)^{-t}$$

$$NPVR = \frac{NPV}{I_0} \times 100\%$$

式中 NPV 为净现值,万元;CI 为现金流入量,万元;CO 为现金流出量,万元; $(CI - CO)_t$ 为第 t 年的净现金流量,万元; n 为计算期,年; I 代表 I_c 或 I_s ;NPVR 为净现值率,%; I_0 为全部投资现值,万元。

当 $NPV \geq 0$, $NPVR \geq 0$ 时,则认为该项目可以接受。

(2)内部收益率法。内部收益率是指节电投资项目在计算期内各年净现金流量现值累计等于零时的折现率,即

$$\sum_{t=1}^n (CI - CO)_t (1 + IRR)^{-t} = 0$$

式中 IRR 为内部收益率,%。

以 IRR 与 I_c 或 I_s 相比较:进行财务评价时,当

$IRR \geq I_c$, 认为该项目可以接受;进行国民经济评价时,当 $IRR \geq I_s$, 认为该项目可接受。

(3)投资回收期法。投资回收期是以节电投资项目的全部净收益抵偿全部投资所需时间,即

$$\sum_{t=1}^{p_i} (CI - CO)_t = 0$$

式中 p_i 为投资回收期,年。

以 p_i 与基准投资回收期 p_c 比较,当 $p_i \leq p_c$ 时,认为项目可以接受。

(4)投资借款偿还期法。借款偿还期是在节电投资项目投入运行后,以可用作还款的盈利、折旧和其他收益偿还借款本金和利息所需的时间,即

$$I_d = \sum_{t=1}^{p_d} (R_k + D_k + R_i)_t$$

式中 I_d 为投资借款本金和利息之和,万元; R_k 为年可用于还款的盈利,万元; D_k 为年可用于还款的折旧费,万元; R_i 为年可用于还款的有关节电措施的其他收益,万元; p_d 为投资借款偿还期,年。

节电项目投资较大者(如 10 万元以上)宜采用净现值与净现值率法和内部收益率法;投资较小者,可采用较简单的投资回收期法。节电项目投资来源于贷款时,要计算投资借款偿还期,评价偿还能力。

(瞿克俊)

jieyue yongdian jishu

节约用电技术 (technology saving electricity)

节约电能的措施和方法。节约用电技术是节能技术的重要组成部分。它贯穿在机电设备的设计制造、选型匹配、运行管理的过程中,是随着对能源重要性认识的深化而逐步发展起来的一门技术。20 世纪 70 年代初,由于爆发世界性的能源危机,世界多数国家开始了能源政策的研究,能源的节约问题被列为重要课题,电能的节约和节能技术的开发普遍得到重视。节约用电技术的发展是从对旧设备的改造开始的,逐步扩大到改革生产工艺和操作方法,进一步发展到设计制造节能设备,同时对设备(或系统)的经济运行也日益受到重视。

节约用电技术的应用,一般需要经过对原设备运行工况的测试(见电能平衡),电能利用技术方案的预选和评估(见节电效益评估),再选择最佳方案组织实施等步骤。对设备测试的目的是确定改造的对象,并为技术方案的预选与评估提供科学依据。技术方案的预选和评估的目的是要选择出一个技术上先进、可靠,经济上效益最好的节约用电技术方案。

节约用电技术根据适用对象的不同,可划分为:设备改造,工艺改革与操作方法改进,新技术、新工

艺和新材料应用,经济运行等几大类。将节约用电技术应用于新产品的开发研制而制造出来的产品称之为节电产品。

设备改造 正在运行的设备(包括电气设备,如电动机、变压器)和生产机械(如风机、水泵)是电能是直接消耗对象,它们的运行性能优劣,直接影响到电能消耗的多少。早先生产的设备的性能肯定会随着科学技术的进步而变得落后,再加上长期使用磨损老化,性能也会逐步变劣。因此,对设备进行节电技术改造必然是开展节约用电工作的重要方面。对设备进行节电技术改造先要进行设备的电平衡测试,从中找出设备需要改造的目标,经过技术经济比较后,确定是改造还是更新。设备的节电技术改造与更新要与企业的技术进步结合起来,一并规划,同步组织实施,这样可使企业获得更大的经济效益。

设备改造方面的具体节电技术有电动机节电技术、变压器节电技术、风机节电技术、空调节电技术等。

工艺改革与操作方法改进 生产工艺和操作方法是影响电能消耗的重要因素,也是影响产品产量和质量的主要因素。因此,生产工艺的改革和操作方法的改进,同时伴随着劳动生产率的提高,产品质量的改善和电能消耗的降低。如电炉冶炼不锈钢,改用返回吹氧熔炼新工艺,冶炼时间可缩短 $1/4 \sim 1/3$, 不锈钢的单耗可降低 $20\% \sim 40\%$, 冶炼电石避免明弧操作,不仅可以减少辐射热损失,而且可以减少石灰烧损,并使电石产量增加,可以使电石单耗减少 $160 \sim 220 \text{ kW} \cdot \text{h/t}$ 。

新技术、新工艺和新材料的应用 随着科学技术进步,新技术、新材料、新工艺的不断开发和应用,给能源的节约开辟了广阔的前景。如电子技术的开发应用,使耗电高的电动直流发电机组和汞弧整流器被淘汰;合成氨生产采用微机控制新技术,使生产工艺参数始终保持在最佳状态,生产合成氨的单耗可降低 10% ;在应用耐火保温性能较好的硅酸铝纤维改造中,低温电加热炉,可以降低单耗 25% ;利用非晶合金制成的变压器的铁损比常规变压器可减少 70% ;合成氨生产中将常压变换改为加压变换,可使合成氨单耗下降 $200 \text{ kW} \cdot \text{h/t}$ 。

经济运行 设备实行经济运行的目的是降低电能消耗,使运行成本减少到最低限度。在大多数情况下,生产负载或服务对象的要求是一个随机变量,而设计时,常按最大负荷来选配设备能力,加之设备的能力又存在有级差,选择时常选偏大一级的,这样在运行时,就不可避免会出现匹配不合理,使设备处于低效状态工作,无形之中降低了电能的利用程度。经济运行问题的提出,就是想克服设备长期处于低效状态而浪费电能的现象。经济运行实际上是将负载变化信息反馈给

调节系统,来调节设备的运行工况,使设备保持在高效区工作。对于有多台设备同时为同一个系统提供服务的,可采用经济运行来降低电能的消耗。如城市的自来水供水系统中,可以通过调节水源的开泵台数和调节泵的流量来实现经济运行。同样,对大的空调系统、空气压缩机站,有两台及以上变压器的变电站等,都可采用经济运行来降低电能的消耗。

(蒋凤铎 徐纪法)

jiezhi jiare

介质加热 (dielectric heating) 见高频电场加热。

jinsu luhuawudeng

金属卤化物灯 (halide lamp) 用通电方法使金属蒸汽(例如汞)和卤化物(例如钠、铯或铷的卤化物)的分解物的混合体辐射而发光的电光源。这种灯是20世纪60年代初在高压汞灯的基础上发展起来的。试验表明,在高压汞灯里添加金属卤化物后,可提高灯的发光效率 $1 \sim 2$ 倍,光色比高压汞灯有很大的提高,改善了灯的显色性能,可以在屋外和屋内照明中应用。

世界上作为照明用的第一支金属卤化物灯,光效达到 64 lm/W , 显色指数 R_a 约为 70, 色温范围为 $4000 \sim 6000 \text{ K}$, 且灯的功率高,体积小,兼有白炽灯和荧光灯的优点,这样很快就得到了社会的认可。在1960~1970年期间,人们认为这种灯是照明电光源的一个新的突破,对它的未来寄以很大的希望。但因其制造工艺和使用环境中的差异变化,致使实际应用中,尤其在多灯的使用场所,各个产品发光效果的一致性较差,从而影响了灯的推广应用。到80年代,随着上述问题逐步得到解决,金属卤化物灯在照明中,特别是照度水平和光色质量要求高的场所,如体育场馆、演播室和商店照明中得到了广泛的应用。

结构 一般金属卤化物灯的结构和高压汞灯相似,它的结构如图1所示。

灯内的发光管采用石英玻璃制作。为了提高发光管的管壁温度,玻管设计成小型,在管端涂以保温膜,以控制其冷点温度。

在使用钠和碱金属卤化物灯中,发光管的封接部分,为了防止主电极和启动电极之间产

生电解,在灯工作时,将启动电极从电气回路中切断,

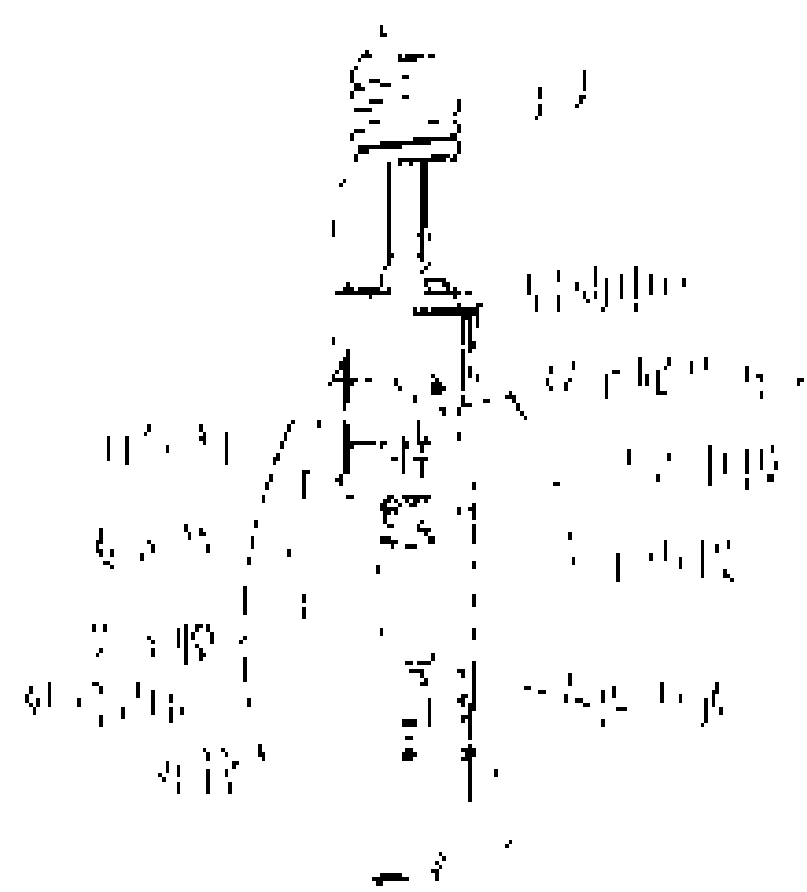


图1 金属卤化物灯的结构



或配置可使启动电极与邻近的主电极具有相同电位的双金属片开关。另外,由于从金属支架(导线)上发出的光电子,会吸附在发光管的外壁上,从而形成电场,在电场作用下产生钠离子,就会通过石英玻璃向外扩散。为了防止钠离子消失到发光管外面去,在外管内充入惰性气体,同时将与发光管平行的金属导线,穿上耐热绝缘套管,或是采取弯曲成与发光管远离的结构。

在不用碱金属的金属卤化物灯中,为了防止电解,双金属片开关不设置在灯内。为了提高外管内的热绝缘性,应使灯的外管保持高度真空。

对于没有设置启动电极的金属卤化物灯,须配置一个能产生脉冲电压以启动灯的镇流装置。

作为非照明的特殊用途的金属卤化物灯,如投影机用金属卤化物灯和近紫外线区的光化学反应应用金属卤化物灯,设计时要求结构小型,紧凑,可使用管状玻管或不用外管。不使用外管的灯,为了防止灯在工作时产生臭氧异味,通常采用不透过 200 nm 紫外线的玻璃作发光管材料。

原理 灯启动后,充入发光管的金属卤化物部分或全部蒸发,因管内放电温度分布不同,呈现出分解和化合的平衡反应,所以管内同时存有卤化物分子、金属原子和卤素原子。在高温电弧的中心部分,几乎所有的金属卤化物都被分解成金属原子和卤原子,由于金属原子的激发而产生强烈的光辐射。

由于一般的金属卤化物比汞要难以蒸发,所以在灯工作时,金属卤化物的分压比汞的蒸汽压要低,而且电弧中心部分的发光金属原子的密度,同样也比汞原子密度要小,但通常选择的发光金属的激发电位比汞的激发电位低,所以在放电辐射中金属光谱辐射占有支配地位。这就是金属卤化物灯的显色性比高压汞灯好的原因所在。

技术参数 可用发光效率、光色、启动特性以及点灯时灯的朝向来表征。

发光效率 简称光效。金属卤化物灯的能量转换情况如表1所示。对400W普通照明用金属卤化物

表 1 金属卤化物灯的能量分配

灯 的 种 类	电极 损失 (W)	非辐射 损 失 (W)	辐 射 (W)			
			紫 外 380nm 以下	可 见 380~760nm	红 外 760~2600nm	
金属卤化物灯	Na-Tl-In 灯	36	154	15	97	98
	Sc-Na 灯	38	142	46	136	38
	Dy-Tl 灯	36	108	24	128	104
	Sn 灯	40	148	12	92	108

注: 1. 除去外管。
2. 输入功率 400 W。

灯,其金属卤化物的组成的不同,能量转换是不一样的。钠铊铟金属卤化物灯有 97 W 转换为可见光,占输入总功率的 24.5%;而铊钠灯有 136 W 转换为可见光,占输入总功率的 34%。比高压汞灯的转换为可见光的 14%要高得多,而且金属卤化物灯发出的可见光辐射的波长位置分布在靠近人眼的灵敏光谱内,在可见区内的光谱辐射也比较均匀。因此 400 W 的金属卤化物灯的发光效率可达 80 lm/W。作为光化学反应应用的金属卤化物灯的发光效率约为高压汞灯的 2 倍。

光色 如图 2 所示,普通照明用金属卤化物灯的光谱分布,在可见光区域内具有较多的光谱线。这样使灯的显色性能明显地得到改善。如表 2 所示,金属卤化物灯的平均显色指数 R_a 最低的达到 65,高的达到 92。色温在 5000 K 左右。

表 2 金属卤化物灯的色温和平均显色指数

灯 的 种 类	色 温 (K)	平均显色指数 R_a
Na-Tl-In 灯	4200~5500	65~70
Sc-Na 灯	3800~4200	65~70
Dy-In 灯	6000	90
Sn 灯	5000	92

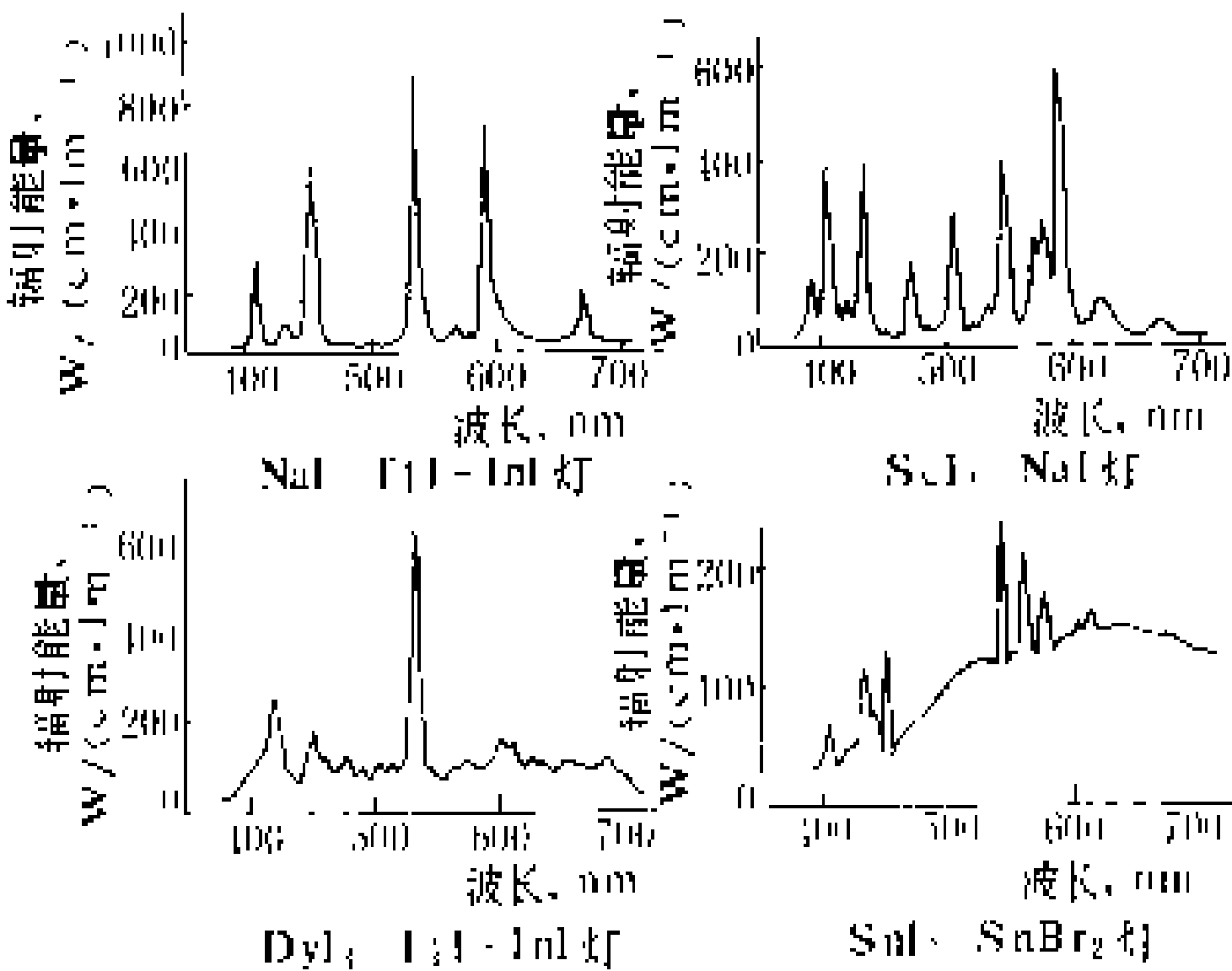


图 2 普通照明用金属卤化物灯的光谱分布

寿命 金属卤化物灯工作时,发光管的管壁温度比高压汞灯高,石英玻璃中含有水分等不纯气体很容易释放出来,还有灯内金属卤化物分解出来的金属和石英玻璃缓慢地进行化学反应,游离出卤素分子使灯的启动电压上升。另外因电极中使用的电子发射物质的蒸发与溅散比高压汞灯严重,而且电极物质与金属卤化物之间也会发生化学反应。这些因素均导致金属卤化物灯的寿命比高压汞灯短 1/3,大约在 6000~9000 h 之内。

启动 金属卤化物灯的电气特性与高压汞灯相似,但启动时的启动电



压比高压汞灯要高，主要原因是金属卤化物灯内充的氙气压力为 $4.6 \times 10^5 \text{Pa}$ ，这样引起游离卤化物的存在而提高了灯的启动电压。为了得到比高压汞灯高的启动电压，可采用以下几种方法：在灯内设置辅助启动开关；在镇流器上安装一启动开关；加一变压线圈来提供适当的峰值电压；作为启动气体，使用氦、氩代替通常在高压汞灯中使用的氙气等。

点灯时灯的朝向 金属卤化物灯与高压汞灯不同，点灯时，灯的朝向的变化会改变灯的光电特性。因为在灯工作时，灯内一部分金属卤化物以液态形式残存在发光管的最冷点部位，由于点灯时灯的朝向的变化，最冷点的温度也跟着变化，与此相对应，它的金属卤化物的蒸汽压也会发生相应的变化，从而引起灯的电压、光效和光色的变化。在灯工作时，即使金属卤化物完全蒸发，但因灯的朝向的不同，而使发光管内的金属卤化物的分布密度发生变化，以致影响灯的光电特性。为了解决这一问题，对金属卤化物灯都规定点灯时，灯是向上垂直，或是水平，或是向下垂直位置。在灯的结构设计与使用时，都要考虑点灯时灯的朝向。只有这样才能获得灯的最佳工作特性。

种类和用途 金属卤化物灯的种类很多，按灯的外观分类，有图 3 所示的 5 类；按灯的金属卤化物添加

装饰照明是比较适合的。铊灯也是一种很好的水下照明和光化合成光源。镓灯适合于照相复印或光刻工业，它可提高这些工种工效的 50%~100%。镓灯用于电影胶片拷贝的制作上，与以往的汞灯比，它既可保证胶卷的凹密度，而且可使拷贝速度提高约 1 倍左右。

发展趋势 金属卤化物灯除继续提高发光效率，改善光色，延长寿命和减小镇流器和启动器的尺寸与重量外，今后主要研究开发小功率（20，30，70，150 W）金属卤化物灯，进一步解决在灯点燃期间的色稳定

表 3 金属卤化物灯按添加金属卤化物和光谱分类

类 号	添加的金属卤化物	光 谱 特 性
1	钠—铊—铟 (Na—Tl—In)	这三种金属卤化物组合在一起，在可见光区内具有强烈的线状光谱，形成发射白光的金属卤化物灯
2	钪—钠 (Sc—Na)	这两种金属卤化物组合在一起，在可见光区内长波方向的线状光谱比第一类丰富，光源颜色成金白色
3	镨—铈—铥 (Dy—Ho—Tm)	这三种金属卤化物组合在一起，除在 540nm 波长有一较强的线状光谱外，其他都是连续光谱，形成近似日光色光源
4	锡—铯 (Sn—Cs)	这两种金属卤化物组合在一起，在可见光区内的光谱组成基本上是连续的，形成日光色光源
5	单一的金属卤化物 为铊、铟、铯、镓等	这些金属卤化物都可产生很强的共振辐射，形成色纯度很高的光谱辐射光源

性和灯的工作不受灯的朝向影响问题。中国从 20 世纪 70 年代开始研制金属卤化物灯以来，在一段较长的时间里由于灯的一致性差，寿命短，性能也不够稳定，使灯产量和应用范围受到较大的影响。后来随着电光源技术的进步，金属卤化物灯的性能与质量有了较大的提高，灯的产量逐步增多，应用范围扩大，预计将进一步改进金属卤化物的制备、提纯、检验和充填工艺，提高灯用陶瓷材料性能后，到 2000 年这种灯的产量将超过 400 万支，是未来室内外照明的一种比较理想的电光源。

（肖辉乾）

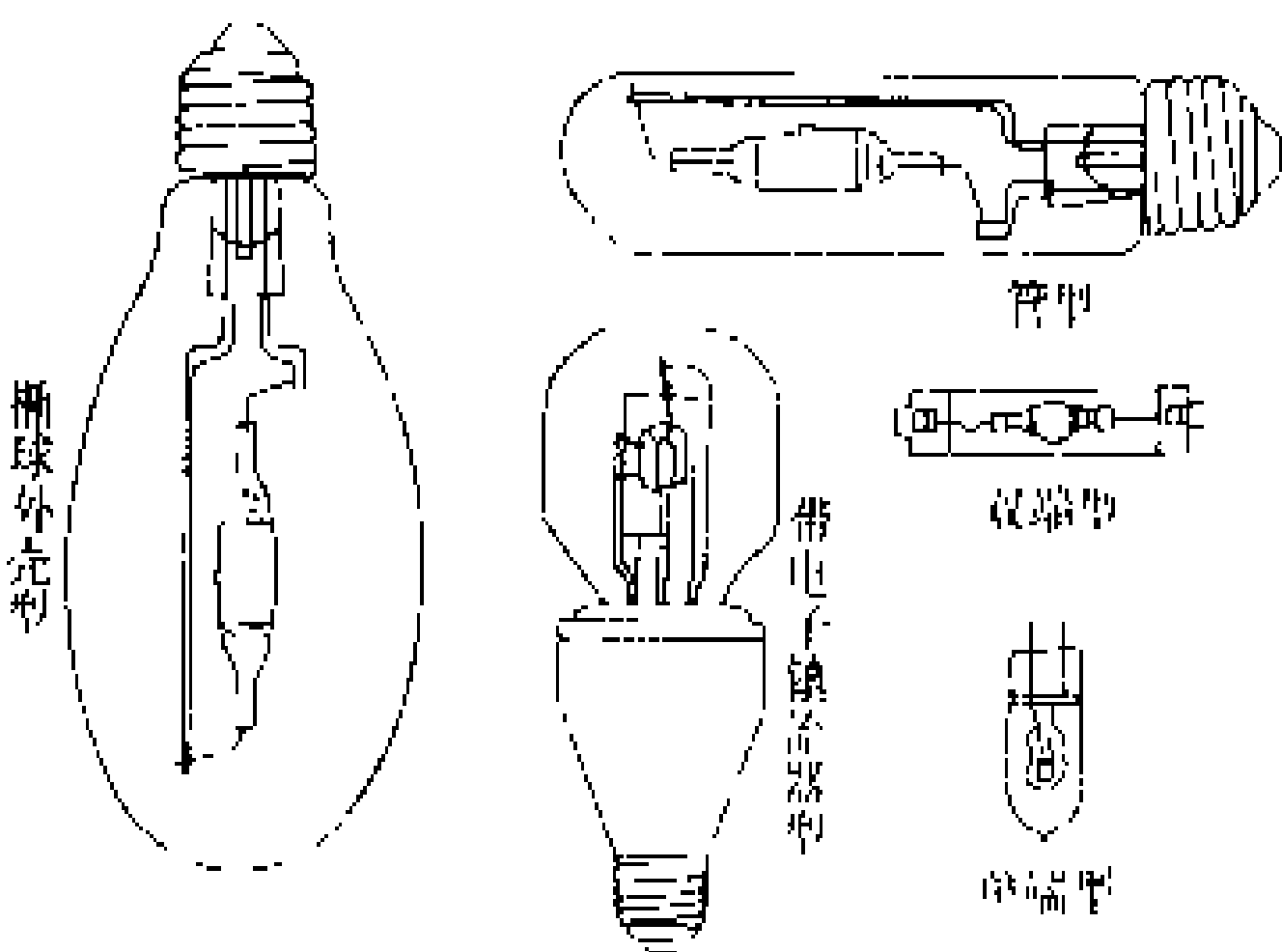


图 3 各种金属卤化物灯

剂的组成和灯的光谱特性分类，有如表 3 所示的 5 类。表中 1~3 类主要用于体育场馆、室内大厅、街道广场和高大车间等场所的照明；表中 4~5 类则主要用于特种照明，例如铊灯发出很强的绿光，铟灯发出很强的蓝光，铯灯则发出很强的红光，具有很好的装饰作用，对

jingzhaguan xiangwei kongzhi zhiliu tiaosu

晶闸管相位控制直流调速 (speed control of DC motor by phase - controlled of thyristor)

通过控制晶闸管整流装置的触发脉冲相位，把交流电压变换为可调的直流电压，实现直流电动机调速的技术。在交流进线电源电压的每个周期内，按一定规律给晶闸管施加触发脉冲，把交流输入电压变为直流电压输出，同时利用改变触发脉冲相对于交流输入电压的相位，使直流输出电压作相应变化，从而使直流电动机转速得到调节。

20 世纪 50 年代末期晶闸管相位控制方法开始应

用于直流电动机的励磁控制。60年代初大功率晶闸管进入实用阶段,从而可以供电给电动机电枢回路。晶闸管直流调速的典型框图如图1所示。

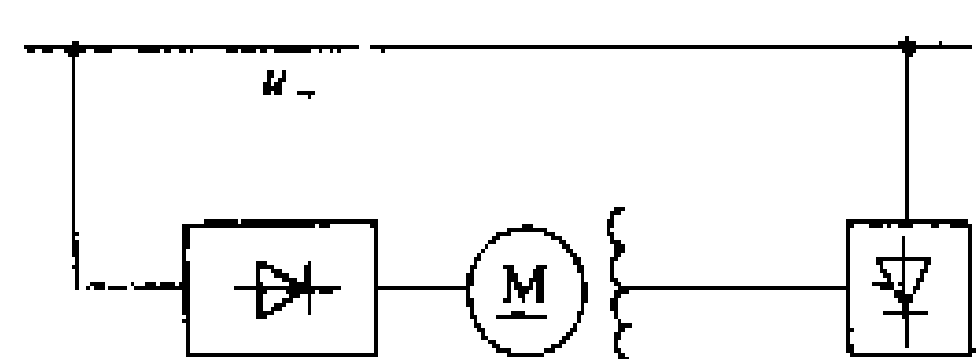


图1 晶闸管直流调速典型方框图

由于晶闸管直流调速与机组直流调速相比,具有操作简单、工作可靠、体积小、振动及噪声小、组装灵活、占地面积小、运行效率高和动态性能好等优点,在60年代发展迅速,大多数新型的直流电动机调速传动都采用晶闸管变流器,其中应用最广的就是晶闸管相位控制调速。

晶闸管是一种可控型三端元件,它的导通条件是当阳极电平高于阴极电平时,在控制极与阴极间施加正电压(或正触发脉冲),阳-阴极间立即导通。但是晶闸管一旦导通,即使撤消控制极与阴极间的正电压,也不可能恢复其阳-阴极间的阻断特性。如要其恢复阻断特性,其条件是在晶闸管阳-阴极间施加反向电压(即阴极为正,阳极为负)或使通过阳-阴极间的电流小于维持电流。在多只晶闸管组成的变流器(交流与直流间的变换装置)中,为使一只晶闸管从导通状态进入阻断状态(即电流从一相晶闸管转移到另一相晶闸管),通常需经过换相过程。在变流器中有自然换相和强迫换相两种方式。对于晶闸管相位控制直流调速系统,其换相过程属自然换相(或称电网换相)。这种换相的特点是当电路中另一相的晶闸管触发导通时,利用电网电压造成原导通的晶闸管的阳-阴极间施加反向电压,迫使原导通晶闸管恢复阻断状态,直流回路电流就从原导通相的晶闸管转移到新触发导通相的晶闸管,完成换相过程。

晶闸管相位控制直流调速,按交流电源相数分有单相和三相两类;按接线方式分有零式和桥式两种;按对直流电动机转向控制分有不可逆直流调速和可逆直流调速。

单相晶闸管相位控制不可逆直流调速 其主电路构成有单相半波、单相全波、单相半控桥式和单相全控桥式四种方案。这类电路结构简单,适用于功率小于5.5 kW的直流电动机调速,其中应用最广的是全控桥式整流电路,如图2所示。

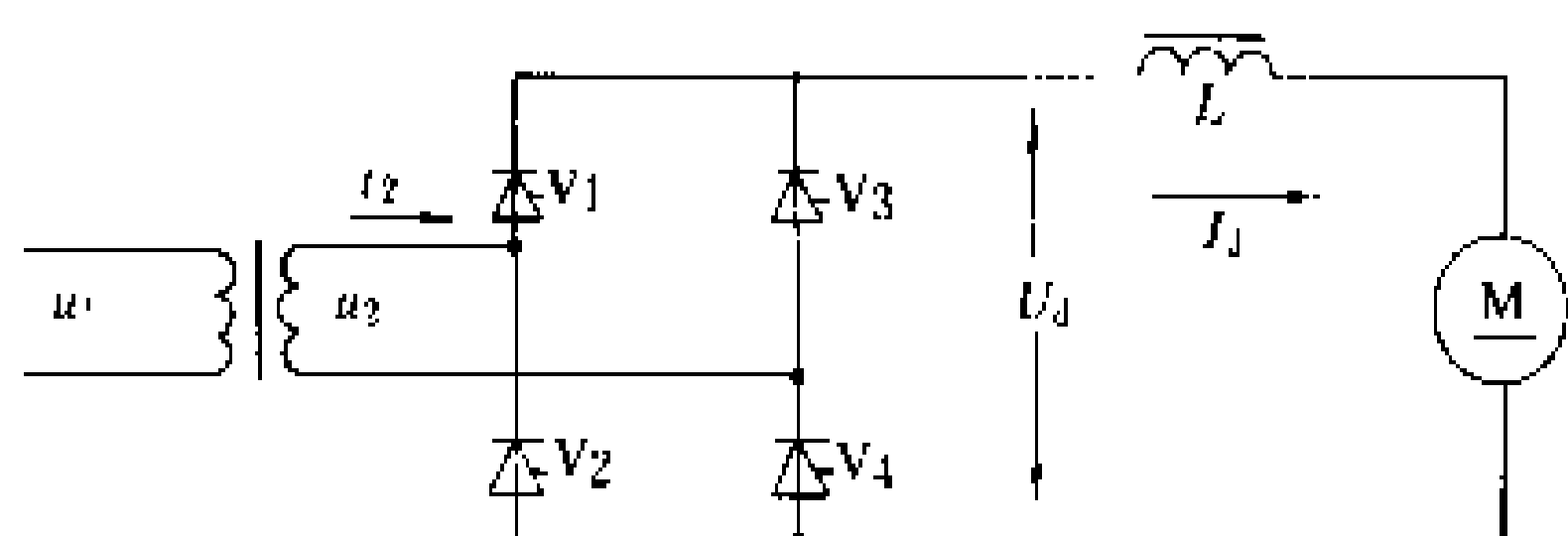


图2 单相全控桥式整流电路

单相全控桥式晶闸管整流装置主电路由变压器(或进线电抗器)、四只晶闸管(V1~V4)和平波电抗器(L)构成。平波电抗器的作用是减小电枢回路电流的脉动分量和在电枢电流最小时保持电枢电流连续,假定L的电感值足够大,则可保持该电路中各电压和电流波形连续,如图3所示。

形成图3波形的控制规律是:当 $\omega t = \alpha$ 时(即触发脉冲延迟点燃角为 α),给晶闸管V1和V4的控制极

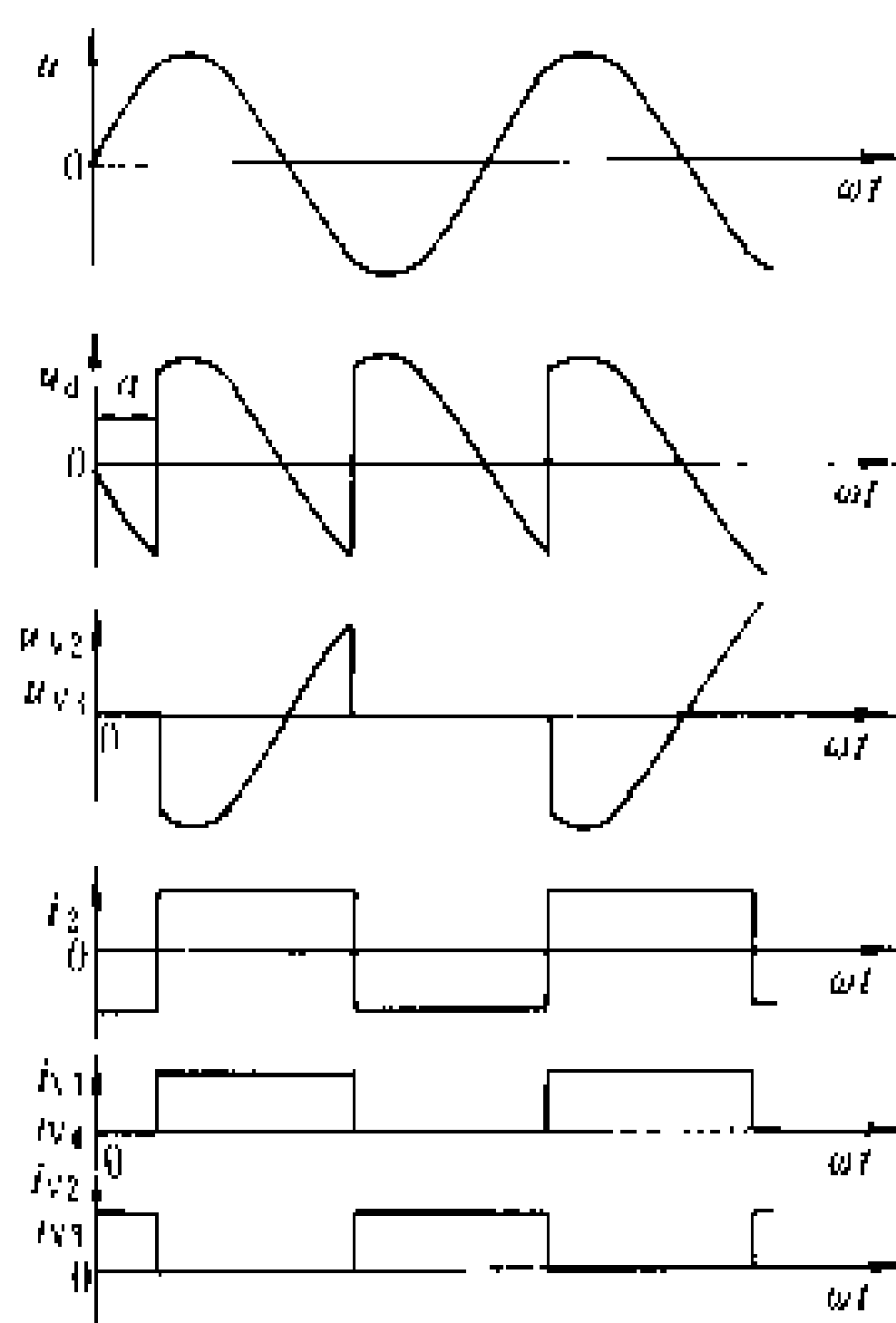


图3 单相全控桥主电路电压、电流波形

和阴极间施加触发脉冲,使V1和V4被触发导通,这样 u_d 就等于 u_2 ,而且通过V1、V4和变压器二次侧的电流都等于输出的直流电流 I_d 。当 $\omega t = \pi + \alpha$ 时,给晶闸管V2和V3施加触发脉冲,使V2和V3导通。正由于V2和V3的导通,在电网电压的作用下使V1和V4因承受反向电压而关断。此时, U_d 等于 $-u_2$,而且通过V2和V3的电流等于 I_d ,但 i_2 却等于 $-I_d$ 。从图3可以看出:利用晶闸管整流电路,可以把交流输入电压 u_2 转换成脉动的直流输出电压 U_d ,而且改变触发脉冲的延迟点燃角 α ,就可改变直流输出电压的平均值。根据图3,可计算出电路中主要电量之间的关系。

只要改变 α 角就可相应地改变整流电压 U_d 。当 $\alpha < \frac{\pi}{2}$ 时,则在电动机反电动势作用下进入有源逆变工作状态,输出电压 U_d 为负值。通常将 α 从 0° 到 90° 范围内的变化称为延迟角 α ,而将 α 在 90° 到 180° 范围内的变化改成 $180^\circ - \alpha = \beta$ 来称呼,并将 β 角的零点比 α 角零点后移 180° ,所以 β 称为超前角(又称逆变角)。

由于晶闸管本身需要有一个关断时间,该时间一般为数十微秒,对应的关断角度通常取 $1^\circ \sim 2^\circ$;换相过程存在一个重叠角,通常取 $12^\circ \sim 15^\circ$;加之考虑电网电压波动及系统参数的变化面取的安全裕度角(10° 左右),因而超前角 β 有一个最小值($20^\circ \sim 25^\circ$)限制,以确保逆变状态下可靠的换相。

三相晶闸管相位控制不可逆直流调速 其主电路构成有三相零式、三相半控桥式、三相全控桥式。在大

三相晶闸管相位控制不可逆直流调速 其主电路构成有三相零式、三相半控桥式、三相全控桥式。在大

三相晶闸管相位控制不可逆直流调速 其主电路构成有三相零式、三相半控桥式、三相全控桥式。在大

功率装置中,为减小电压脉动,用两个三相全控桥式电路的串联或并联组成 12 相系统。但应用最多而又最基本的是三相全控桥式电路,如图 4 所示。

三相全控桥整流装置主电路,仍然由变压器(或进

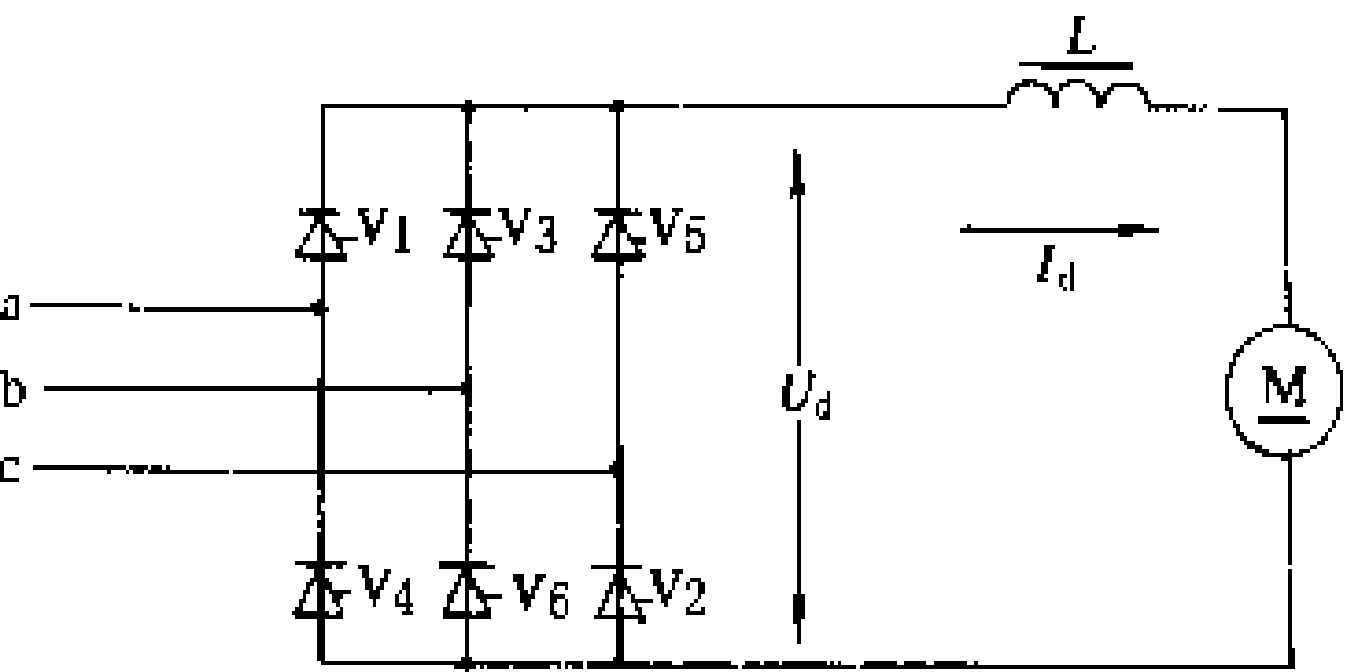


图 4 三相全控桥整流电路

线电抗器)、晶闸管桥和平波电抗器组成。与单相桥不同的是进线为三相对称电源,晶闸管桥由六只元件组成。在平波电抗器的电感值足够大时,则可得该电路中各电压、电流波形,如图 5 所示。

利用图 5 可计算三相桥电路各电量关系。表 1 列出各种整流电路中主要电量间的关系。表中 U_d 为整流电路的整流电压平均值、 U_{RU} 为晶闸管所承受的最高

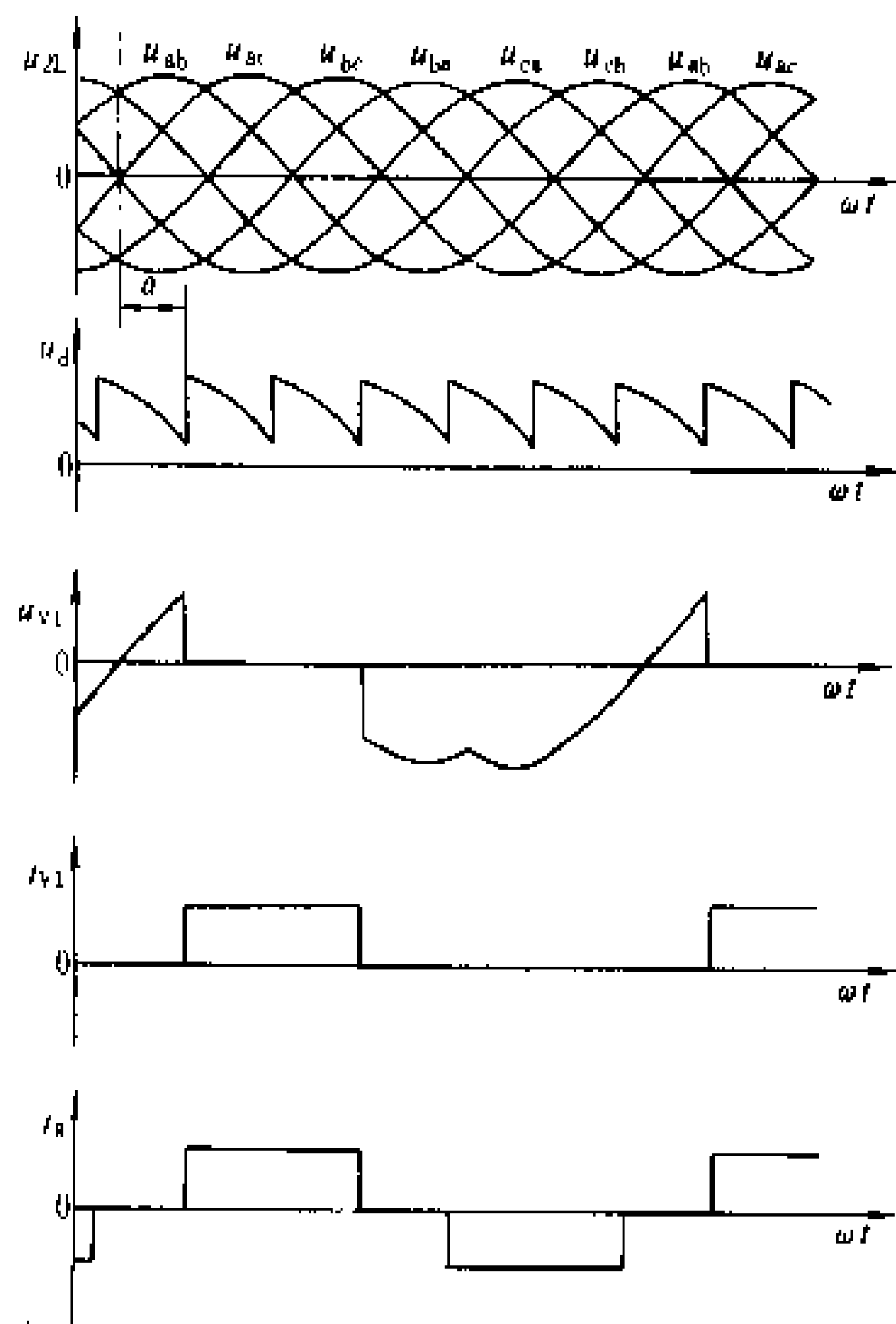


图 5 三相全控桥整流电路电压、电流波形

表 1 各种整流电路中主要电量间的关系

接法	线路图	U_d/U_2^*	U_{RU}/U_2	I_N/I_2	I_d/I_2	接法	线路图	U_d/U_2^*	U_{RU}/U_2	I_N/I_2	I_d/I_2
单相全波		0.9	2.83	0.45	0.707	三相半桥		2.34	2.45	0.367	0.810
单相半桥		0.9	1.41	0.45	1	三相全桥		2.34	2.45	0.367	0.816
单相全桥		0.9	1.41	0.45	1	双桥串联**		4.68	2.45	0.367	0.810
三相零式		1.17	2.45	0.367	0.577	双桥并联**		2.34	2.45	0.183	0.408

* U_2 是指变压器二次侧相电压有效值;
** 双桥串联或并联是指交流变压器有两个二次绕组(或两台变压器)分别接成 Y 和 Δ 组成两组三相桥式整流后再串联或通过平衡电抗器并联构成十二相整流的线路。

反向电压、 I_N 为晶闸管额定电流、 I_2 为交流进线电流有效值、 U_2 为交流输入电压、 I_d 直流电流。

晶闸管相位控制可逆直流调速 由于晶闸管具有单向导电性，在电动机励磁电流方向不变的情况下，如表 1 所列的单相半控桥和三相半控桥电路，其电动机只能在一个象限内受控。其他电路的电动机也只能在两个象限内受控。为使电动机能实现四象限运行，可利用两组可以实现两象限运行的主电路构成可逆主电路，如图 6 所示。由于图中两组变流器的输出电路完全是按导通方向串联连接，为了防止直流短路，两组变流器绝不能同时处于整流工作状态。因此，当一组变流器工作在整流状态时，另一组可处于逆变状态，仍有电流流过，形成有环流控制方式；或者另一组变流器完全封锁不产生电流，形成无环流控制方式。

图 6 电路有三种基本控制方式。

(1) 有环流控制方式：通常设整流组（正向组） α 角和逆变组（反向组） β 角相等，即采用 $\alpha_k = \beta_k$ 的控制方式。其特点是正向组供给负载电流，正向组和反向组间瞬时电压差引起环流，需由电抗器将环流限制在负载电流的 5%~10% 以内。当制动时，可同时降低整流电压和逆变电压，并小于电动机反电动势，从而正向组被截止，反向组真正进入逆变状态，产生反向制动电流。

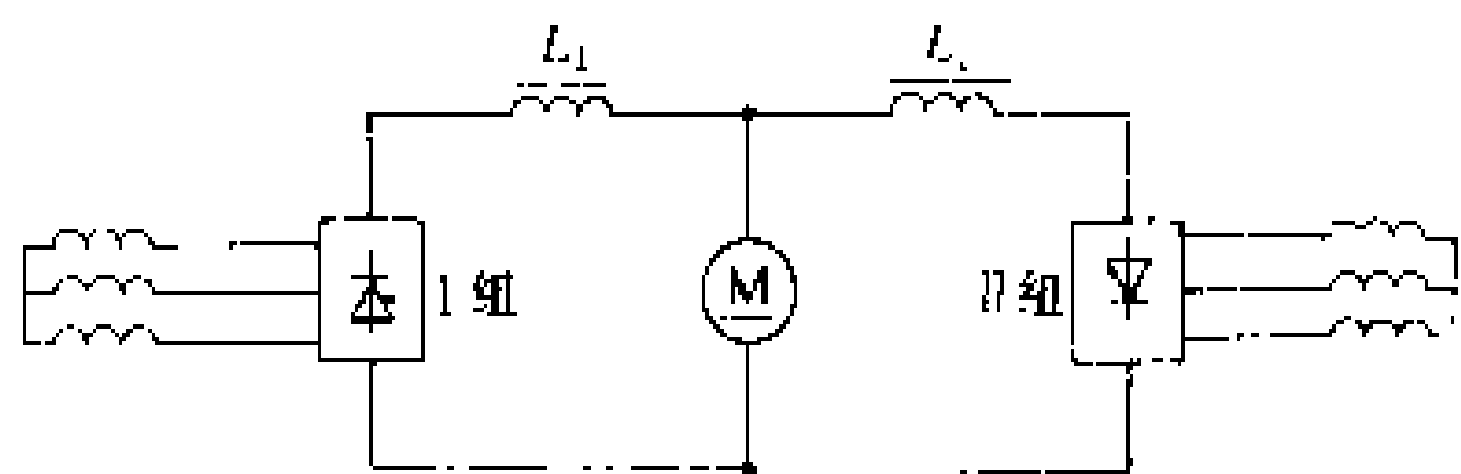


图 6 晶闸管供电的可逆直流调速

(2) 无环流控制方式：其特点是通过逻辑控制来保证主电路的正常工作。逻辑控制的依据是由闭环系统中电枢电流给定值来决定哪一组主电路工作。两组主

表 2 晶闸管相位控制可逆直流调速方案比较

反向型式	反向方法	晶闸管主电路	传动型式	特 点
电枢电流反向	转换接触器		I 型传动	响应尚可，但可动的接触器需要维修，接触器转换要求有电枢零电流检测
	双重变流器 有环流型		I 型传动	响应最快，两组变流器同时开通，但两组变流器中的损耗再加上限制环流用的电抗器的损耗，致使效率降低
	双重变流器 无环流型		II 型传动	响应较快，每次只开通一组变流器，为防止两组变流器同时开通，要求有电流检测和延时环节
励磁电流反向	双重变流器		IV 型传动	造价便宜，响应快慢取决于强制励磁
	转换接触器		V 型传动	

电路切换条件是必须在原工作一组主电路可靠封锁并恢复阻断能力后才能使另一组主电路投入工作。

(3) 给定环流控制方式：属于有环流控制方式中的一种形式，其特点是当电枢电流小时，两组主电路之间保持有一定的环流值，使主电路电流连续，以保证系统快速性；而在电机电流大时，使环流减小，以降低变压器的容量和电抗器的尺寸。它克服了按 $\alpha_k = \beta_k$ 控制方式中存在的环流随 α 角而变化的缺点。

晶闸管相位控制可逆直流调速装置主电路中变压器二次电压 U_2 与整流电压 U_d 的关系，应考虑最小逆变角 β_{min} 的限制，即

$$U_d = AU_2 \cos \alpha_{min} = AU_2 \cos \beta_{min} - U_\Delta$$

式中 A 为电路常数； U_Δ 为最大逆变电流时，两组主电路间电压降。

其他各主要电量之间的关系，仍可按表 1 计算。

晶闸管相位控制可逆直流调速方案比较，如表 2 所示。

晶闸管相位控制直流调速，在交直流主电路中将产生各次电压和电流谐波。交流电源回路内的电流谐

波将使电网波形畸变;同时还存在着功率因数低、无功冲击大的缺点。因此对于电网容量较大的晶闸管相位控制直流调速装置或在弱电系统不允许受干扰的场合,应考虑增设谐波吸收及无功补偿装置。

参考书目

赵扶摇,万里雄编著.直流电动机晶闸管调速系统.北京:机械工业出版社,1986

(陈亚鹏)

jingdian

静电 (electrostatic) 两种物质紧密接触后再分离或物质间相互摩擦而使物质带电的现象。静电虽电量(或能量)不大,但电压较高,可能引起爆炸、火灾、人身伤害、电子器件失效和损坏,需采取加速静电泄漏、进行静电中和、抑制静电产生等措施加以消除。

特点 ①电量不大而电压极高,即静电电流很小,一般只在微安级至皮安级,而静电电压则高达数千伏或数万伏;②绝缘体上静电消散很慢;③存在感应现象,即金属导体在静电场中,其表面的不同部位可以感应出不同的电荷或导体上原有电荷经感应后可重新分布,并可能产生很高的电压;④静电能够被屏蔽。空腔导体在静电场中达到平衡时,空腔内电场强度为零;如果空腔内有电荷,且其外表面接地则其外表面上的感应电荷泄入大地,导体外部电场场强为零。这两种情况都叫做静电屏蔽。

危害 静电使人体和生产遭受的危害有:①爆炸和火灾。静电火花可能引燃易燃易爆混合物,从而导致火灾和爆炸;②电击。由于静电能量小,静电电击不致直接使人致命,但可能因电击引起人体坠落、摔倒等事故,还可能使工作人员精神紧张而引起操作事故;③静电可能直接影响生产,降低生产质量;④静电能引起电力、电子元件的误动作,干扰计算机的正常工作。

措施 消除静电的主要措施有泄漏法、中和法、工艺控制法。

(1)泄漏法。采取接地、增湿、加入抗静电添加剂等措施,让已产生的静电电荷比较容易泄漏、消散。

(2)中和法。带静电的物体与所接触的空气的电子或离子中和而失去电荷,称为静电中和。采用静电中和器或其他方式产生与原有极性相反的电荷,使已产生的静电得到中和而消除。一般这种中和极为缓慢,不易察觉。如果使带静电的物体发生气体放电,就会迅速中和。放电是静电中和的主要方式。静电放电常见的型式有三种:①电晕放电。电晕放电发生在带电体尖端附近或曲率半径很小处附近的局部地域内,电场强度很高,空气局部电离而形成电晕。电晕放电时有可见的淡

紫色光,并可听到嘶嘶声。②刷形放电。刷形放电发生在两极间的空气因击穿而形成的放电通路上,该通路分布在一定空间范围内,且有较多分叉。放电时伴有声光。③火花放电。两极间的空气被击穿为没有分叉的通路,电极上有明显的放电集中点,放电瞬间能量集中释放,并伴有短促爆烈声和明亮的闪光。这种放电危险性最大。

(3)工艺控制法。如选用适当的材料和设备,降低液体、气体和粉体的流速,改进液体注入方式,消除杂质等可以限制静电的产生和积累。

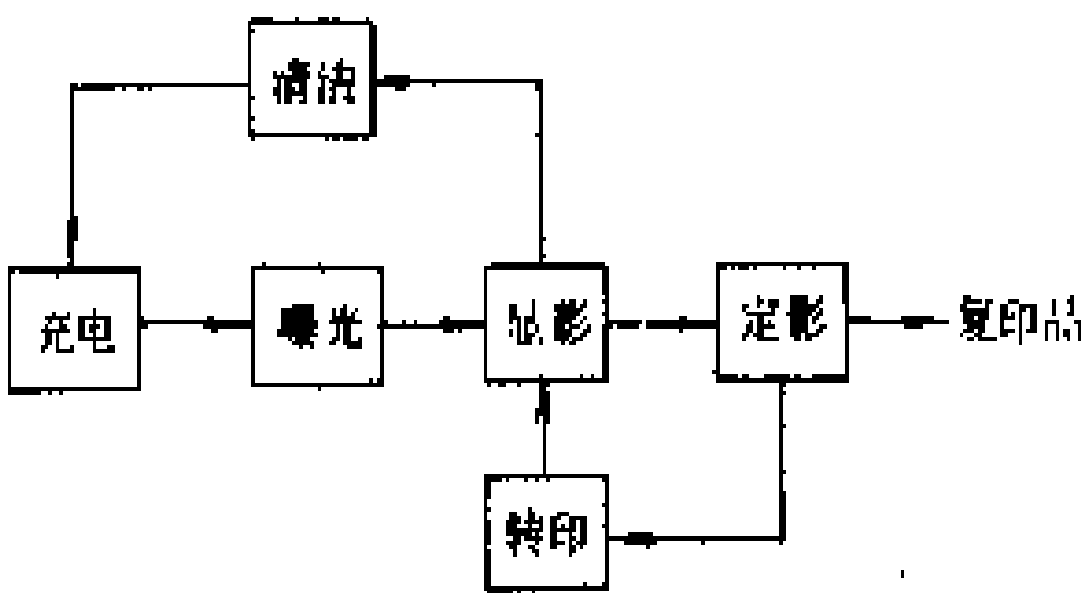
在有爆炸危险的场所,可以利用静电屏蔽,防止静电危害。

(陈金鑫)

jingdian fuyinji

静电复印机 (xerographic printer) 一种利用半导体的光电效应、电磁原理将原稿(文献、资料、手稿等)按原样、放大或缩小后复制出清晰复制品的设备,简称复印机。(参见彩图插页第31页98图)

静电复印机的结构主要由感光鼓、光学系统、显影、清洁装置、纸路系统(送纸与输纸)、定影装置、传动部分、电气控制及其他辅助装置所组成。复印工作过程见下图。



复印工作过程框图

工作原理 利用光导体受光照射时导电能力强、而在暗处则显示出绝缘体这一特性完成成像、显影并转印到复印纸上。首先利用电晕放电的方法对光导体充电,自由离子就会快速均匀地沉积在光导体(感光膜)上,使之带上均匀的静电荷;当用光照射原稿时,接受到原稿反射下来的光线(曝光)后,原稿无图字的地方受强光照射阻值下降,静电荷很快消失,而原稿中的字体、画面及阴影部分则照射的光弱,将全部或部分地保留电荷,形成静电潜像——由表面静电荷形成的图像。带有与潜像相反极性的色粉(显影粉)与光导体接触,潜像的电荷将色粉吸附,使光导体显示出可见的色粉图像,再将色粉图像转移(转印)到复印纸上,经加热定影后就形成复印品了。

分类 静电复印机按复印速度分,有普及型低速复印机(复印速度为6~20张/min)、中速复印机(20~60张/min)及高速复印机(60~120张/min);按复



印机体积分,有小型台式静电复印机、中型落地式静电复印机及大型工程图纸静电复印机。近年来,为适应个人使用,又出现了便携式抄写机。

按形成静电潜像的方式分,有充电成像式、逆充电成像式、持久内极化成像式及电荷转移成像式复印机。此外,还有按复印介质分类的,如普通纸、涂层纸等静电复印机。

沿革及展望 中国的碑拓可以说是世界上最早的一种复印方法,而静电复印机的发明者是美国的物理学家C.F. 卡尔逊。1938年,C.F. 卡尔逊用手帕摩擦涂有硫磺的锌板使其带电,然后将透明纸原稿覆盖在锌板上,并用白炽灯曝光几秒钟形成静电潜像,最后用有色粉末显影,重现了与原稿相同的图像,这一技术在1942年获得美国专利。

1947年,美国豪乐德(Holoid)公司、施乐(XEROX)公司在巴特尔纪念研究所的参与下,经过一年的研究公布了静电复印机的全过程,即干印术。后来又出现了湿法静电显影,并使静电复印进入实用阶段。1954年施乐公司将板式光导体改为鼓状,并实现了机械化和自动化。1960年,该公司制成世界上第一台落地式全自动办公室用静电复印机,并投入市场。此后,静电复印技术得以广泛应用与迅速发展。

中国生产的复印机大部分是引进国外(日本、美国)先进技术与机型,并结合国内实际需要而定型生产的。如桂林复印机厂的理光FT型,上海复印机厂生产的施乐牌以及天津复印机厂生产的优美牌复印机。

复印机将朝着小型化和多功能方向发展,如三色、四色复印机,打破了过去单色复印的局面。此外,复印机在应用方面还将会不断开拓,还会更多地与其他设备联用。如作为胶印机的制版机,与传真系统或通信工具联用,可将甲地的资料通过电话或传真系统在乙地直接复印出来;还可以与计算机联用,经计算机加工后的资料可高速度、高质量地复印出来,即可作为计算机的终端输出设备;与阅读机、缩微机联用,可进行增幅与缩幅复印等等。

当前,光导体材料的灵敏度、复印品的分辨率、反差等还有待进一步研究与提高;复印全色调图像时,复印品的层次及细部过渡还不够理想;而且设备结构复杂、关键部件价格昂贵,寿命有限,维修、保养也较困难,这些都有待于不断提高和改进。

(王远美)

jumin shenghuo yongdian

居民生活用电 (electrical energy utilization of resident's living) 用于居民家庭内生活服务的用电。居民生活人均用电水平是衡量居民生活现

代化水平的重要标志。随着家用电器普及率的提高,居民生活用电与人们生活和学习的关系越来越密切,一旦断电,虽不致造成人身伤亡和设备损坏,但给广大居民生活造成极大的不便,必须引起重视。

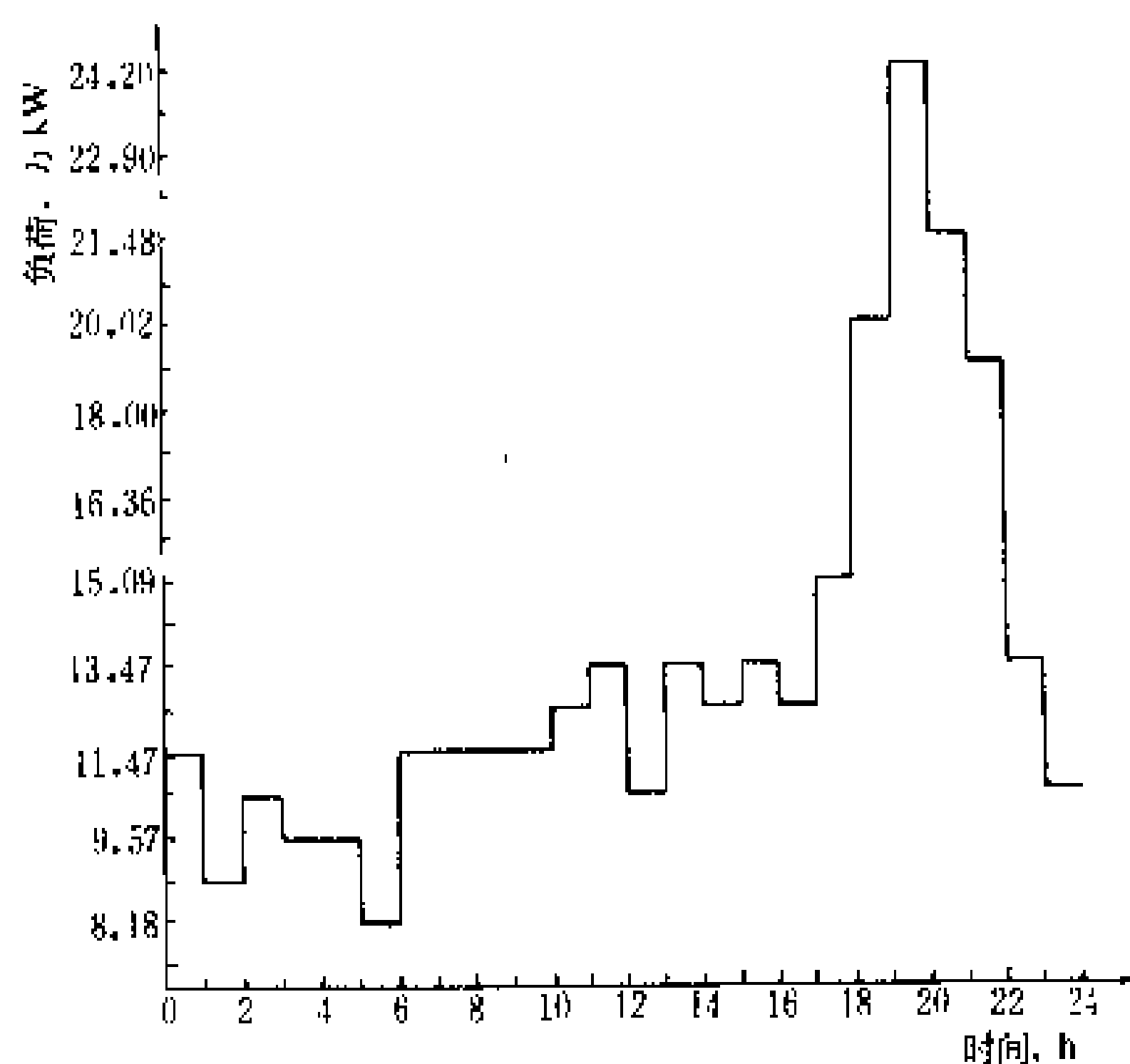
发展简史 电能的应用开始于照明。19世纪90年代居民生活用电主要是少数城市家庭生活照明。19世纪末叶和20世纪初叶,随着城乡电网的发展,居民用电范围迅速扩大,一些国家、地区的部分家庭开始应用收音机、电视机、电风扇、洗衣机、电冰箱等,并逐步扩大应用范围。20世纪中叶以后,即使是新发展的供电地区,耗电较少的家用电器几乎与照明同时进入居民家庭。随着居民生活水平的逐步提高,电冰箱、彩色电视机也逐步普及。这时每户年耗电约1000 kW·h,一般称之为居民生活用电水平的第一阶段。

随着居民生活水平的提高和居民用能结构的改变,生活炊具、夏季防暑降温、冬季采暖逐步向用电发展。这时每户年耗电约4000~8000 kW·h(有煤气和集中供暖的城市,用电较少),一般称之为居民生活用电水平的第二阶段。

随着居民生活水平的进一步提高和家用电器的发展,部分家庭采用先进多功能的制冷、空调、清洁、熨烫、厨房、取暖、整容、声像、娱乐等家用电器。这时每户年耗电达到1万kW·h以上,一般称之为居民生活用电水平的第三阶段。

在一个国家、地区内,由于居民收入的差别,地区供能结构的不同,家庭用电水平常是多阶段并存。

1949年在中国有电地区,居民生活用电主要是照明。随着经济的发展,供电范围日益扩大,居民的物质和文化生活水平的提高,收音机、电视机、电风扇、洗衣机、电冰箱等家用电器逐步在城乡居民家庭中普及,



北京地区1992年5月15日居民生活用电典型日负荷曲线

居民生活用电量 41 年来以 13.2%的年递增率增长，但城乡之间、地区之间人均差异很大。以 1990 年为例，按中国人口平均的生活用电量为 40 kW·h，其中城镇平均为 88.4 kW·h，农村平均为 23.1 kW·h，个别地区的部分居民的户均用电水平已进入第二阶段，大部分地区大部分居民尚处于较低的第一阶段用电水平，少数边远地区的居民还没有用上电。

用电特点 据统计分析电冰箱、电风扇、电炊具、电视机、电空调等家用电器用电时间相对集中，同时率很高，约为 0.7~0.9，而且集中在晚间照明用电时间，形成日用电高峰负荷；防暑降温、采暖又季节性集中出现。北京地区居民生活用电典型日负荷曲线如图所示。居民生活用电负荷中电感性负荷比重大，功率因数低。家用电器基本上都是单相负荷，造成负荷不对称；家用电器中，整流、变频设备日益增多，这些设备向系统注入谐波，造成污染。

(翟克俊)

jubu zhaoming

局部照明 (local lighting) 为满足某些部位的特殊需要而设置的电气照明。

国际照明委员会 (CIE) 建议下列情况使用局部

照明。

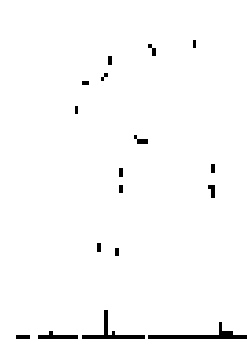
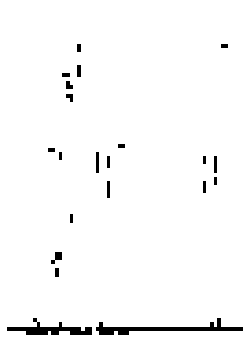



- (1) 与很费眼睛的作业有关的工作，特别是仅在有限范围需要增加照明的地方；
- (2) 需要很强的指向性灯光来辨认物体的形状和质地时；
- (3) 因为遮挡，一般照明照不到的地方；
- (4) 视力下降需要较高照度时；
- (5) 必须补偿由于一般照明造成的对比减弱时。

按一般室内照明规定，不允许在工作面上只设局部照明。这对安全和视觉疲劳等均会产生不利影响。中国国家标准 GB50034—92《工业企业照明设计标准》规定，工厂内使用局部照明时，混合照明中的一般照明的照度值应按该等级混合照明照度的 5%~15%选取，不宜低于 20lx，以保证照明质量。

局部照明灯的形式很多，如机床灯，地面上可移动的支架灯，无棚墙壁上安装的直接型照明灯，独立安装的投光灯，嵌入顶内的筒形投射灯，展示画面照明的移动导轨投光灯等。

检验用工作照明是一种典型而又特殊的局部照明，它主要用来检查制品的缺陷、颜色的均匀性、光泽的均匀性、弯度、污点、异物、裂纹等产品质量。表中所示为几种检验作业局部照明的基本形式。

检验工作照明的基本形式表

基本形式					
光 源	置于被检物上方	置于被检物前方	置于被检物前下方	漫射性面光源	漫透射面光源
漫射型灯具	光泽平面上的凹凸、弯曲(金属、塑料板等)	半光泽面上的亮斑、凹凸(铅字、活板等)	强调平面上的凹凸(布、丝织物的纺织不均匀、疵点、起毛等)	光泽面上的一致性、瑕疵(金属、玻璃等) 光泽面的翘曲，凹凸由反射像的变形来观察光源面上的条纹、格子的直线样子	透明体内的异物、裂痕、气泡 (玻璃、液体等) 半透明体的异物、不均匀(布、棉、塑料等)
集光型灯具	光泽面的瑕疵、划线、冲孔、雕刻等	粗面上的光泽部分(金属磨损部、涂料的剥落等)	强调平面上的凹凸(板材、铅字、纸板等的翘曲、凹凸)		对于带有白色的异物，要用黑色背景，以聚光性灯具照射

(赵振民)



K

kara OK

卡拉 OK (kara orchestra) 音响设备的一种具体应用, 本意是在无人乐队伴奏下的演唱。“卡拉”是日语, 意思是“空”, “OK”是英文 orchestra——管弦乐队发音的缩写, 它巧妙地运用了“OK”的双重含义。卡拉 OK 的主要载体是软件, 对应不同的软件具有不同的音响组合——硬件。

卡拉 OK 是在 20 世纪 80 年代初发源于日本的, 由于它具有“视、听、唱、录”综合配套的一系列功能, 使它不仅很快席卷日本, 而且以同样惊人的速度扩展到整个东南亚地区, 且有向世界各地发展之势。新一代的卡拉 OK 设备正向着功能多样化、自动化的方向发展, 昂贵的、高档的卡拉 OK 设备不仅适用于商业娱乐场所, 也将逐步进入家庭。

工作过程 任何一种卡拉 OK 的音像组合都是由音源、视源部分, 功率放大部分及声音处理部分, 信号输出部分所组成。

音源、视源部分的设备主要有普通卡座式录音机、多声道录音机, 录像机, 激光唱机 (俗称镭射唱机) 及多功能激光视盘 (俗称镭射影碟机)。所有这些设备都可以与与之相匹配的软件产生卡拉 OK 娱乐时所需要的立体声音乐伴奏的音频信号, 而录像机和激光视盘除了能输出这种音频信号外, 还同时输出图像传真的视频信号, 演唱者的歌声也通过麦克风 (Mic) 的线圈或电容变成电流式的音频信号, 所有这些音频、视频信号即为音源和视源。

功率放大及声音处理部分的设备为卡拉 OK 主机及变调器, 从音源、视源部分输出的音频信号, 经过功率放大器集成电路的放大后高保真地送入扬声器。一般卡拉 OK 主机可进行回响、延时的效果处理及功率放大, 并可同时插入可同时使用的 2~3 支麦克风。功率放大器的功率等级有多种规格, 挑选时, 可根据用途、场地及音箱的最大承受功率来选定。一般功率放大器的功率是音箱功率的 2 倍左右。由于声波受装饰条件、房屋高低及场地情况的影响很大, 使用时, 需将音源、视源部分的设备中的左右两声道与功率放大器即

卡拉 OK 的左、右两声道的音频输入相连, 再把经放大处理后的左右两声道的音频信号输出端分别接到各个扬声器音箱上。

信号输出部分的设备是指扬声器和彩色专用监视器。经过效果、变调及放大过的音频电流信号通过扬声器的作用使其无失真地再现为声波, 而视频信号则需经彩色专用监视器放大并在屏幕上显示出图像。视频信号是从激光机或录像机的视频输出 (vidio output) 接到监视器的射频输入 (RF) 端。

组成与分类 卡拉 OK 是由软件和硬件两部分组成的。软件是实现以音乐伴奏为主要目的载体, 主要有卡拉 OK 录音带、卡拉 OK 录像带、卡拉 OK 激光唱片、卡拉 OK 激光视盘和卡拉 OK 歌曲目录。作为软件的卡拉 OK 歌曲目录是将所有歌曲编成数字式快速选曲机中的数码并编辑成册, 成为便于演唱者查索的片号、曲号索引。硬件是根据不同的软件载体由具体的音响设备、录像机、电视接收机等设备的组合。依据不同的软件和硬件, 卡拉 OK 可分为适用于录音带、录像带、激光唱片、激光视盘等几种型式。

卡拉 OK 录音带及其主要设备 卡拉 OK 录音带是适合卡座式录音机使用的卡拉 OK 伴奏带。分为两种: 一种是最常见的卡拉 OK 录音带, 采用两轨双声道制成, 一个声道为伴奏, 另一个声道为人声, 它利用普通卡座式录音机输出音频信号。另一种是较专业的音声多重盒式卡带, 采用四声轨制成, 两轨为立体声卡拉 OK 伴奏曲, 另两轨为有人声演唱和伴奏音乐的歌唱, 这种音声多重录音带有与之相匹配的音声多重的录音机输出音频信号, 然后经过变调、回响延时效果及功率放大后可直接接入音箱, 演唱者通过麦克风演唱时, 不仅能很好地模仿原唱技法, 还可以欣赏原唱的风采。

卡拉 OK 录像带及其主要设备 卡拉 OK 录像带是配合录像机使用的一种载体, 它可以放出音乐伴奏及与之相对应的有变色字幕的彩色画面。这种载体的设备组合较简单。卡拉 OK 录像带也有两种: 一种是单声道的普通录像带, 其音源、视源部分可以用音频输出的普通录像机; 另一种为高保真立体声录像带, 它要求用有左右两声道音频输出的录像机, 把音频输出的信号通过变调器延时回响及功率放大后, 输入相应功率的扬声器 (音箱)。卡拉 OK 录像带的视频信号可直接输入电视机的射频输入端 (RF)。

卡拉 OK 激光唱片及其主要设备 卡拉 OK 激光唱片简称 CD, 是通过激光及电子技术制出的声音信号的载体, 是一种超高度保真的数字立体声伴奏唱片, 其音源、视源部分为具有电脑选歌功能的激光唱机 (俗称镭射唱机)。激光唱机的音频输出后进入变调器, 通过卡拉 OK 的主机进行回响、延时的效果处理及功率



放大作用,放大后的音频信号可直接通过扬声器(音箱)放出高保真的立体声伴奏。激光唱片也可以配以数码式字幕机,以方便演唱。

卡拉OK激光视盘及其主要设备 卡拉OK激光视盘(俗称卡拉OK镭射影碟)简称LD,是通过激光和电子技术制成的声像信号载体,能通过音像组合设备放出含主音伴奏的超高度保真的数字式立体声音乐伴奏及与之相配的有变色歌词字幕的清晰美丽的画面,是视觉佳、艺术气氛浓、档次高的伴奏软件。其音源、视源部分为具有电脑选歌功能的激光影机,其音频输出后进入变调器,并通过卡拉OK主机进行回响、延时、功率放大,放大后的音频信号直接通过扬声器(音箱)放出高保真的立体声伴奏,激光视盘的视频则可直接输入监视用电视机,若需同时接入多个监视电视机,则可将视频信号先输入一台可以输出视频信号的分频器,再分别输入到各个监视器的射频输入孔(RF)中,若所用设备分别购于电压配置不同的国家,则需配备一台电压转换器,以把所有非统一电压设备连成一体。

对于卡拉OK激光唱片机和激光视盘机若再配备摄像机的专业卡拉OK,可以把演唱者的风采同步输入图像显示器,使演唱者成为画面背景中的主角。

形式 随着卡拉OK设备的不断发展,出现了适应各种需要的卡拉OK形式,主要有家庭式、大型活动式、派对式、高级专家式几种高组合形式。

家庭式组合 在家庭中,利用已有的音响组合和电视机,再配上卡拉OK软件(磁带或录像带)和硬件(话筒等),就可以一展歌喉,如再加上环回声,更如置身舞台。

大型活动式组合 在配有相应的卡拉OK设备的条件下,此系列还拥有两个250W高功率输出扬声器,在室外也能充分发挥其威力。此外,内部设备的音调装置可适应不同演唱者的歌喉,从而满足各位演唱者歌喉的需要。

派对式组合 在配有相应的卡拉OK设备的条件下,此系列还拥有两个最高功率为120W的高功率扬声器,这种组合还可利用摄像机将演唱者的演唱拍成专辑赠送给演唱者。

高级专家式组合 在配有相应卡拉OK设备的条件下,此系统内装有音域宽广的独立式音调装置,即使是高难度的歌曲,也可转变为适应演唱者歌喉的音调,从而满足演唱者的需要。

(张克让 肖 兰)

keni lengzhaji diankong xitong

可逆冷轧机电控系统 (electric drive control system for reversble cold rolling mill) 用

以实现可逆冷轧机正常运转的电力拖动和控制等电路组合的总体。冷轧带材生产是用热轧带卷为原料,经酸洗除鳞后,在单机架中经双向反复多次轧制成材。冷轧机可分为连续式和可逆式两大类。连续式冷轧机一般用来轧制厚度在0.25mm以上带钢,其特点是轧制速度快(约35~37m/s),生产率高,但设备投资大。可逆式冷轧机用于轧制0.5mm至5~20μm厚度不同的多品种带钢、不锈钢及各种特殊的有色金属带材。其特点是容量、轧制速度及轧制材料多种多样,从而要求电控系统的性能也多种多样,其设备比较紧凑,灵活性和通用性比连续式轧机强,而且设备投资较小,轧制产量不大。轧制材料有钢、铜、砂钢、金、铂等。所轧带钢品种规格多,截面均匀,尺寸精度高,表面光洁,机械加工性能好。

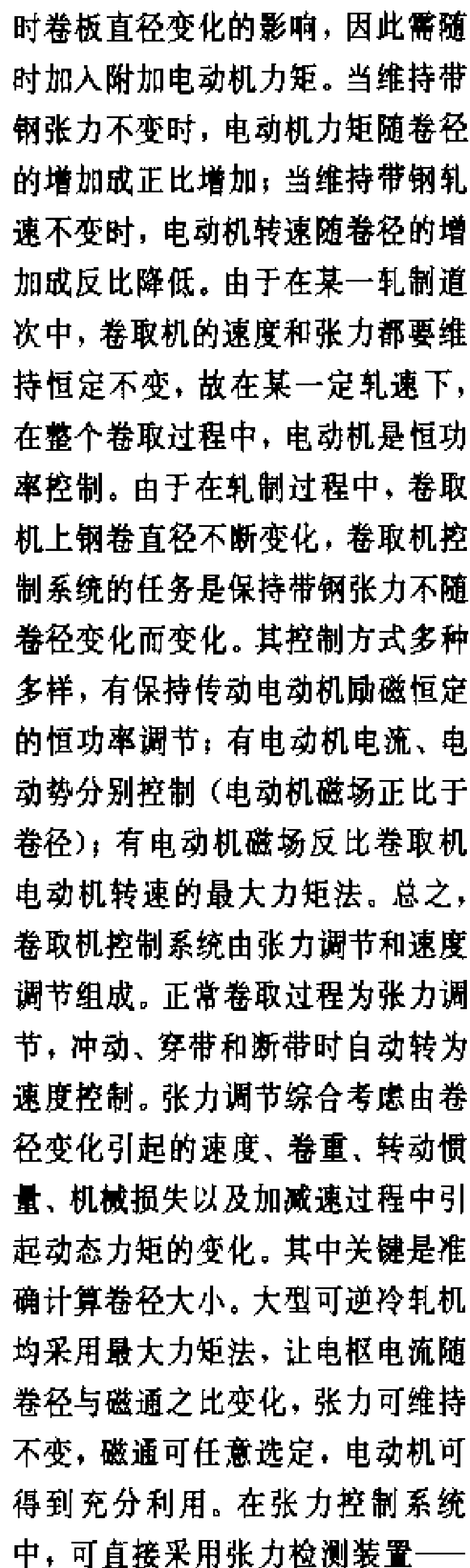
根据可逆式冷轧机内组装轧辊数目配置方式,轧机可分为二辊式、四辊式及多辊式(6~20辊)。典型的可逆冷轧机由1台四辊机架、左右2台卷取机1台开卷机组成,如图1所示。每轧完一个道次,要减少辊缝并改变轧制方向,通常需经过3~5道次才轧成所需厚度。可逆冷轧机轧制工艺对其电控系统要求高。为适应不同品种,不同道次,对轧制速度的不同要求,电控系统应使可逆冷轧机机架和卷取机具有一定调速范围(1:30);为了保证产品质量,要求带张力轧制,而且在稳速轧制和起动、制动过程中始终维持张力恒定不变;同时还要求能单独向不同方向低速运动(冲动状态)。

可逆冷轧机电控系统分主机速度控制、卷取机张力控制和压下螺丝的控制。

主机速度控制 可逆冷轧机生产的前几道次轧制和后几道次轧制所需轧制力矩相差很大。一般说初始道次压下量大、速度低、轧制力矩大;后面几道次压下量小、速度高、轧制力矩小。电动机具有恒功率负载特性,再加上考虑到1台轧机不只生产1种带钢,随着宽度和带钢材料变化,所需最大力矩和最小力矩会相差更大,所以主机几乎全部采用直流他励电动机传动。其控制方式采用非独立调压调磁调速方法,电动机弱磁范围一般在2倍以上。在传动方式上,有把上下辊机械地结合在一根轴上的集体传动和每个轧辊分别传动的单独传动两种方式。在单独传动方式中,上下辊有各自独立的速度控制系统。当金属被轧成带材时,轧辊间隙被带材填满,因而上下辊被耦合在一起,变为刚性整体。为了使上下辊传动电动机负荷均衡,需采用负荷平衡调节,其方式是将一个速度微调信号加入其中一个传动系统,以确保上下辊负荷平均分配。

为了提高轧机生产率和成品率,主机必须在10~15s的短时间内以恒定的加速度加速到最高轧制速

了速度控制时因冷轧情况的变化而承受不同负荷,造成对轧制状态变化的影响外,带钢张力同时还受轧制



主回路一般采用发电机-电动机机组或者晶闸管变流器供电回路。由于可逆轧机轧制方向的变换是在轧机静止状态下进行的,有足够的操作间歇时间,用以变换轧制方向,使主回路可以采用电枢可逆系统,也可采用磁场反向系统。小型可逆冷轧机基本上采用晶闸管变流器供电的电枢可逆系统,励磁控制基本上采用晶闸管三相桥式供电方式。为了加快励磁电流变化速度,采用强行励磁,强励倍数一般为1~2倍。

张力计,构成直接张力闭环控制系统,以改进张力控制的准确性。

压下螺丝的控制 压下传动方式有电动方式和液压方式，以液压方式居多（比电动压下快4倍）。同时采用厚度自动控制，它是靠在主机架入口和出口侧安装X射线测厚计来实测板厚与所需板厚之差，来控制压下丝杠。

其他自动装置 除上述控制系统外，在可逆冷轧机中还采用许多自动运转装置，如轧机速度和辊缝自动设定、轧机的自动减速和停车、用于开卷机上料自

动高度和宽度对中、钢卷直径计算装置等。这些装置也都在迅速实现数字化。它们均是利用各种检测器测出带卷位置,加以计算然后进行控制。上述自动化装置也可采用 PC 可编程序控制器或微机来实现。图 2

辊道等主要辅助机械也要求快速、可逆重复短时工作等,一般采用晶闸管供电的直传动,有准备逻辑无环流系统。

可逆热轧机电控系统可分为直流电控系统、交流电控系统和计算机电控系统。

直流电控系统 直流主传动已全部采用晶闸管变流器供电,图 1 所示为典型的直流电控系统框图。该系统采用了有准备的逻辑无环流的非独立控制系统,具有速度、电流双闭环回路,完全能满足快速可逆的要求,工作可靠、维护方便。由于主传动容量大,在工作时对电网产生强大的有功及无功冲击,引起电压波动,功率因数下降和产生高次谐波。为抑制谐波分量,主传动装置多采用 12 相整流,错开上、下辊变压器相位,组成等效的 24 相整流。同时根据电网情况增设无功补偿装置。

交流电控系统 随着轧制过程的强化,虽然使用的直流电动机容量有 8000 kW,已接近极限容量,但

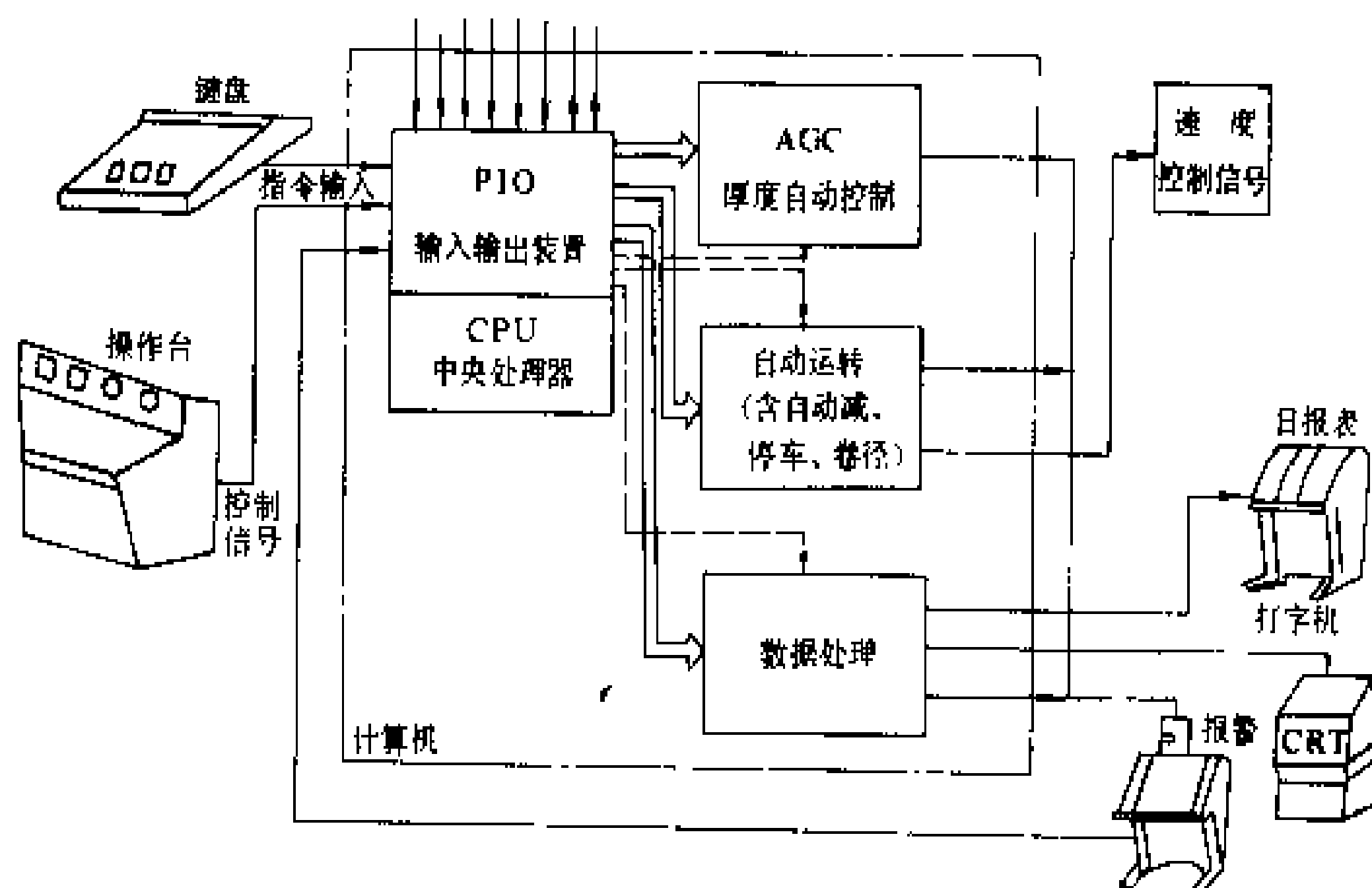


图 2 计算机控制的四辊可逆冷轧机电控系统框图

所示为计算机控制系统的组成示意图,它将可逆冷轧机的轧制工艺过程进行程序编制,将每道次的轧制参数输入计算机,这些数据以数字方式存储,变换器将数字量转为模拟量加入控制系统,适当地方作为提供每道次数据。典型程序编制数据有轧制速度、带钢张力、厚度轧辊间隙、轧制压力极限以及卷径计算和自动减速点的计算等。

为了便于操作人员掌握工艺流程中的重要数据,在主操作台上安装了工艺数据显示装置。该装置以彩色屏幕显示,最重要的工艺数据用曲线、光带或数字显示。这些工艺数据有尺寸误差、压下位置、卷取张力、轧制速度、轧制力和卷重等。

(刘纯先)

keni rezhaji diankong xitong

可逆热轧机电控系统 (electric drive control system for reversible hot-rolling mill)

用以实现可逆热轧机正常运转的电力拖动和控制等电路组合的总体。可逆热轧机包括初轧机、带立辊的万能板坯轧机。它们具有作业率高、产量大的特点,要求主传动能频繁、快速地正、反转,从正向额定转速到反向额定转速仅为 1.5~2 s。为满足这一要求,一般采用低速大容量直流电动机,单台容量可达 8000 kW,额定转速为每分钟数十转,电机转动惯量小、过载能力强、最大过载转矩达 2.5~3 倍。可逆热轧机的压下、剪断、

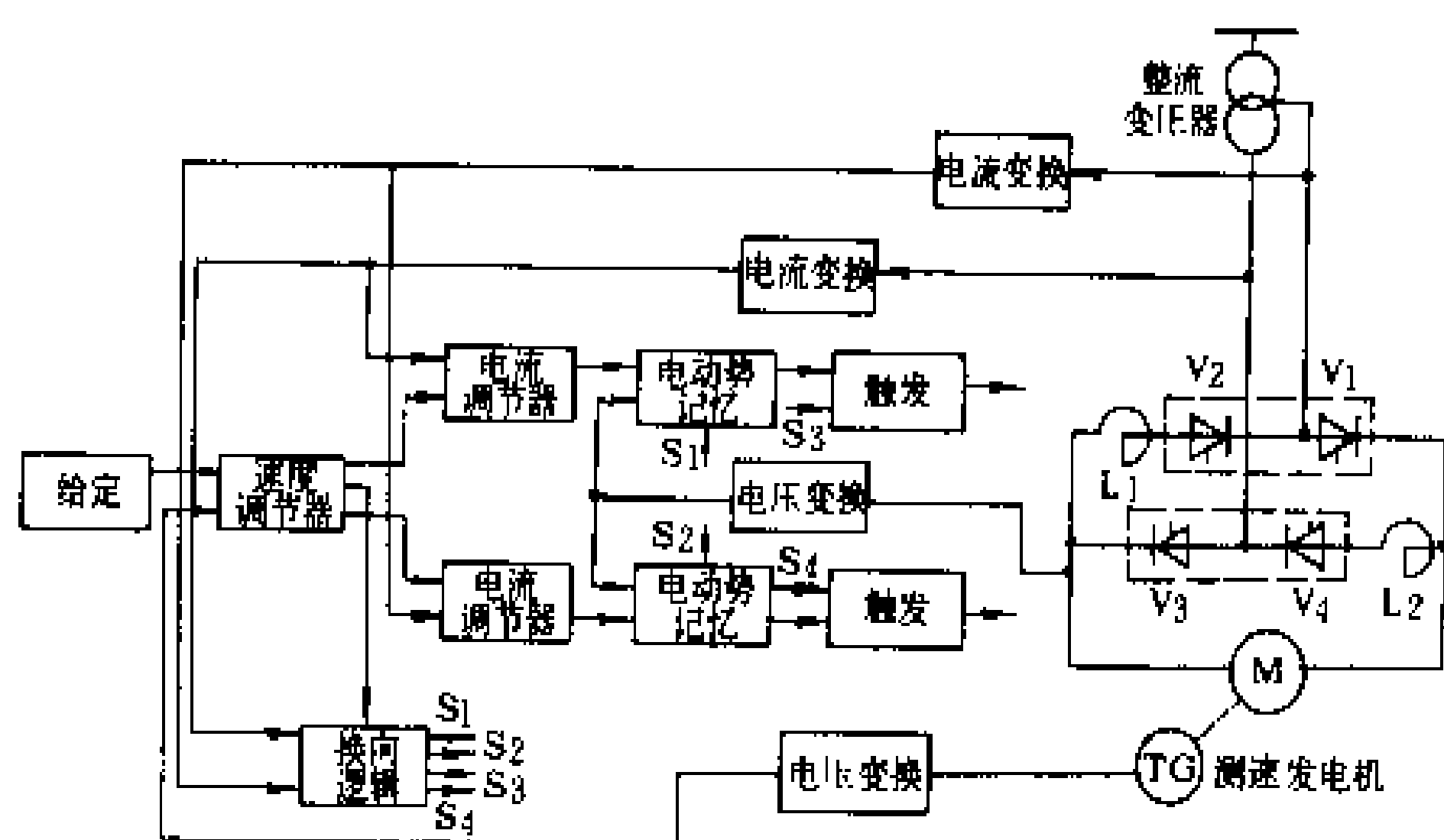


图 1 直流电控系统框图

对于主传动用直流电动机尚嫌容量不够;另一方面,由于电力电子器件的发展及微机的应用,使复杂的交流-交流变频装置在快速可逆系统上的应用得以突破。从 20 世纪 80 年代开始,交流主传动的可逆热轧机便陆续投入运行,其传动电动机采用同步电动机或笼型感应电动机,它们完全可以满足可逆热轧机的生产要求。图 2 所示为同步电动机的交流电控系统框图。由于该系统采用了按磁通定向的矢量控制系统,适用于大容量的场合。与直流电控系统相比,交流电控系统的优点在于:①没有整流子电刷,减少维护工作量;②在相同容量、转速下,有较小转动惯量,有更好的动态性能;③具有更大的容量,单机可达 10000 kW 以上;④

励磁容量小, 发热少, 比直流机有更高的效率, 既节电、又节水; ⑤由于采用矢量控制, 其控制性能高于直流电控系统, 故在大型可逆热轧机主传动上很快推广应用。与直流电控系统相比, 交流-交流变频系统复杂, 装置造价高, 但大型交流电动机比直流电动机便宜, 故交流电控系统多用于大容量可逆热轧机上。这种装置的最高工作频率为电网频率的一半, 因而更合适于 20 Hz 以下的低频传动。(见交流-交流直接变频调速及交流电动机矢量控制)

计算机控制系统 可逆热轧机主传动及其主要辅助机械的自动运转控制, 因为计算机的应用而得到完善。万能板坯轧机因无对孔型、翻钢等操作, 比方坯可逆轧机易实现自动控制。图 3 为万能板坯轧机计算机控制系统框图。

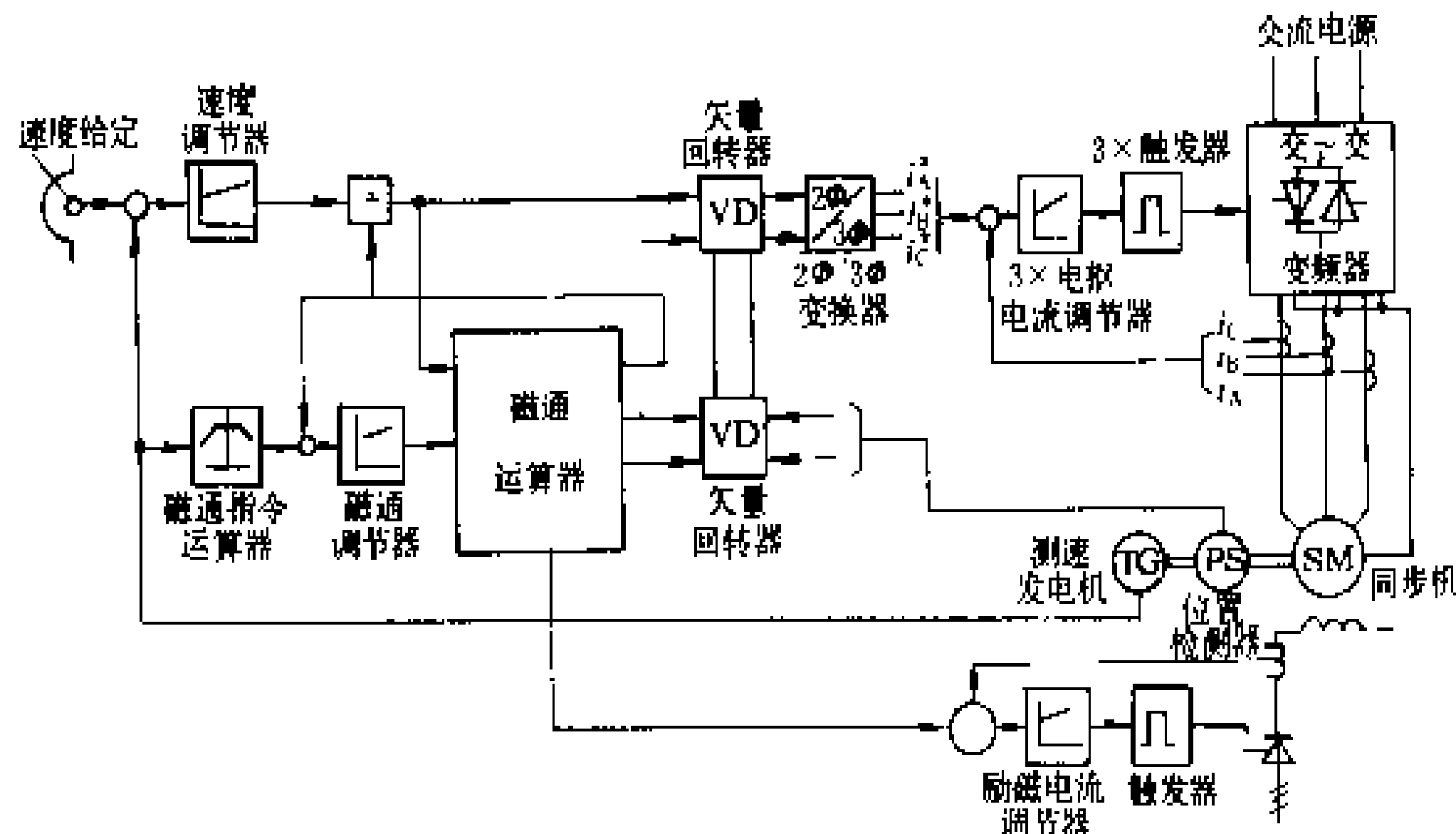


图 2 交流电控系统框图

它包括钢坯位置跟踪、轧机轧制数据跟踪、最佳轧制表的计算、自动位置控制等控制功能。钢锭送到轧机后, 先根据其有关数据计算出轧制表, 并在轧制过程中, 根据实际轧制情况不断加以修正。计算结果经自动位置控制输出, 变为运转指令以确定立辊及侧导板开口度、压下位置、主传动立辊及前后辊道的

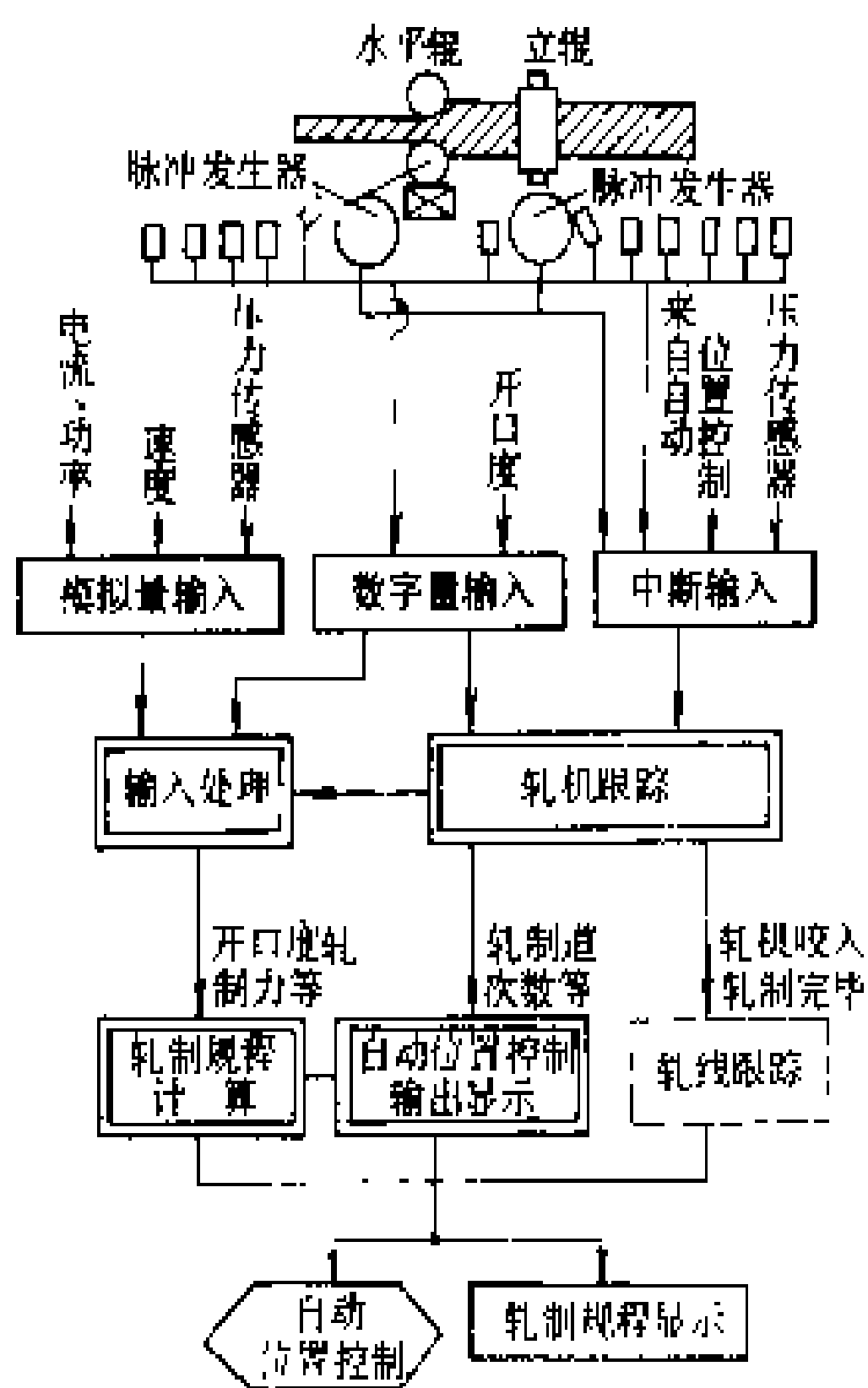


图 3 计算机电控系统框图

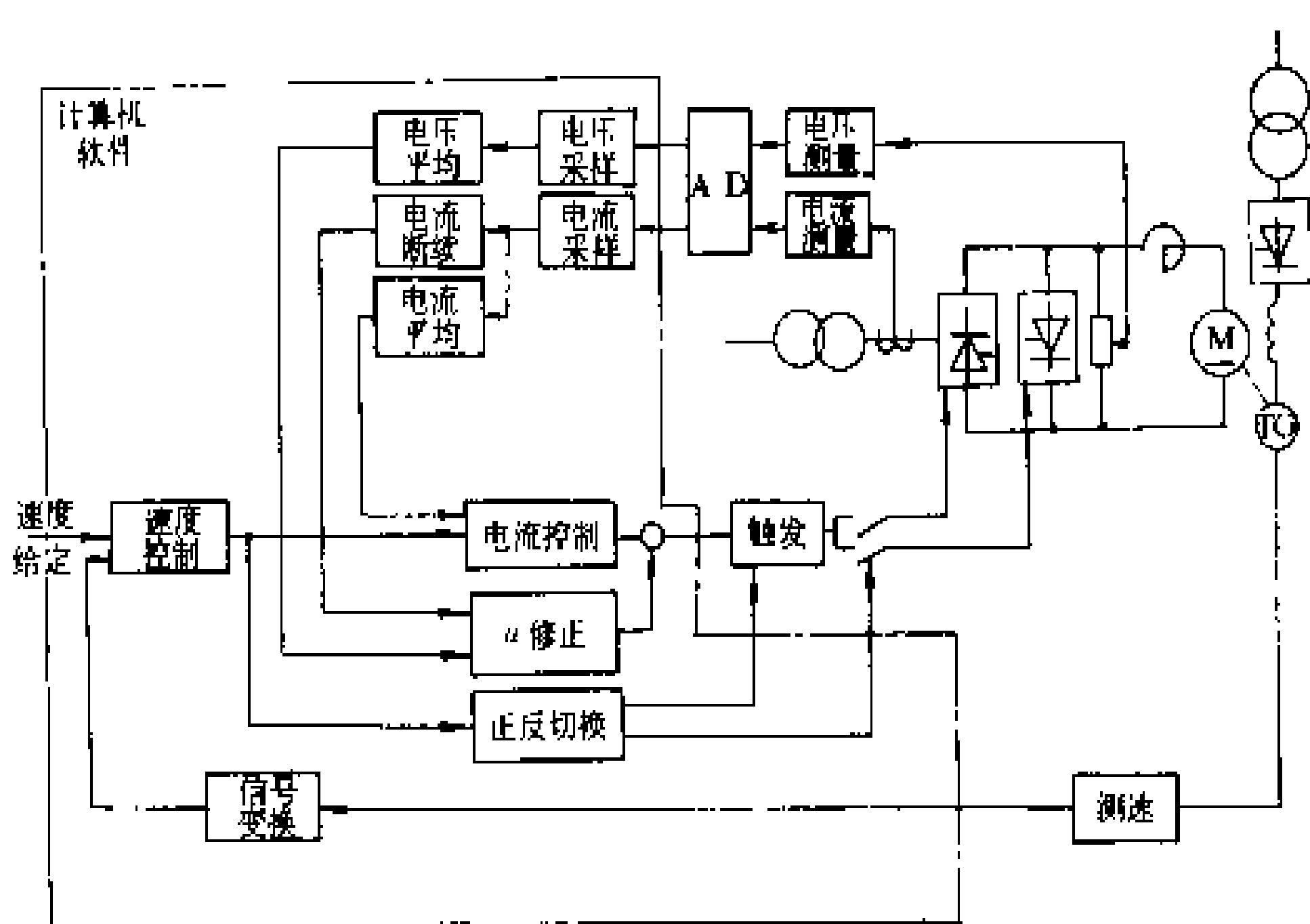


图 4 轧机用全数字电控系统

速度。在轧制过程中, 通过轧机跟踪功能, 及时对主传动、立辊及辊道速度、压下位置进行调整。根据最佳咬入速度和使轧件抛离轧辊距离为最小的原则, 消除无效时间, 进行高效率轧制。

近几年来, 随着微机的不断发展, 全数字控制系统在可逆轧机上也得到应用。图 4 为一台厚板轧机主传动直流电动机的全数字电控系统。电机为 2×8000 kW, 50~100 r/min, 采用高性能的 16 位微机。与模拟系统相比, 数字系统有以下优点: ①响应速度快、精度高、能考虑系统中非线性特性; ②容易实现系统的故障自诊断; ③调试方便。由于使用 EPROM, 使系统某些参数更改方便, 缩短调试时间。

(林广悦)

kongqi fulizi fashengqi
空气负离子发生器 (air anion generator)

利用高压封闭电场电极针类电晕放电使附近空气电离而产生负离子的医用电子装置。它主要应用于人体保健和对某些疾病的辅助治疗。

负氧离子发生器用于医疗保健的研究开始于 1932 年, 至 70 年代, 负离子发生器逐步进入临床实际应用。近年来, 对它的研究正在向更深入的方向发展。在保健方面主要有以下几方面作用: ①改善肺的功能, 增加肺的吸氧量和 CO₂ 排出量; ②改善心肌功能, 增加心肌营养, 使毛细血管扩张, 有一定降压作用; ③有一定的镇静和镇痛作用; ④激发人体内的多种酶, 促进新陈代谢, 增强机体的抗病能力。

对于一些呼吸系统的疾病, 如急性和慢性支气管



炎、支气管哮喘、支气管肺炎、支气管扩张肺气肿、儿童百日咳、慢性鼻炎、慢性咽喉炎有较好的疗效；对于神经官能症、失眠、植物神经功能紊乱、偏头痛、高血压、动脉粥样硬化、心绞痛、糖尿病、月经不调、神经性皮炎等有不同程度的疗效。

空气负离子发生器是根据高压封闭电场的电晕放电，将周围的空气电离的原理制成的。其原理方框图如图 1 所示。电源接通后，多谐振荡器工作，输入一个幅度、周期一定而占空比不对称的脉冲，此脉冲再通过电容耦合被送至选频功率放大器转换成正弦波信号，同时进行放大，再由倍压整流电路将其整流升压至高达数千伏的直流负高压，前后通过极针（负离子发射针）放电，将周围空气电离而形成空气负离子。

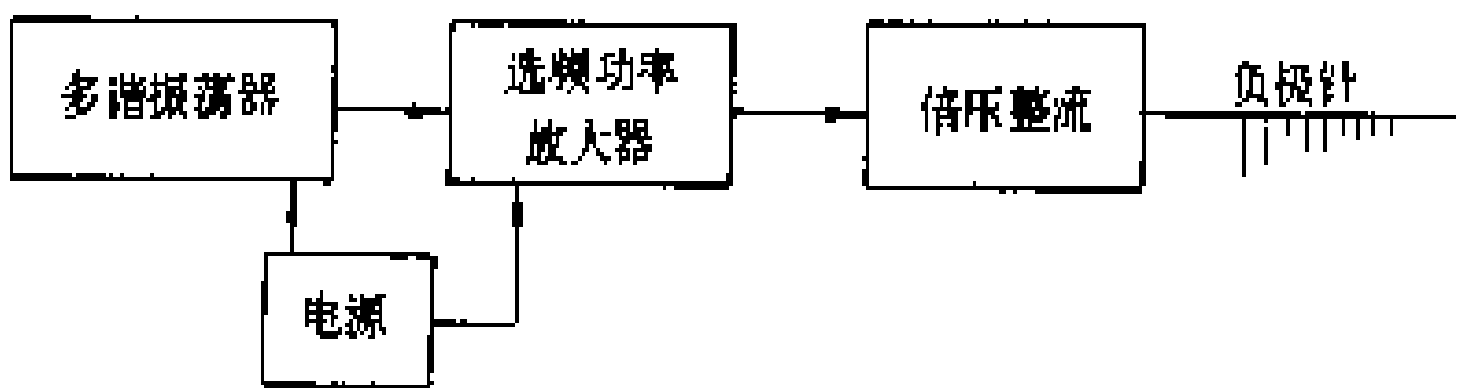


图 1 空气负离子发生器原理方框图

空气负离子发生器一般由高压发生器、负极针、风扇、电机和塑料机壳等几部分组成。机壳的外形因不同产品而异，但一般多为传统收音机形式。电源为 220 V 或 220/110 V 交流，消耗功率为 15~30 W。空气负离子发生器的结构示意图如图 2 所示。

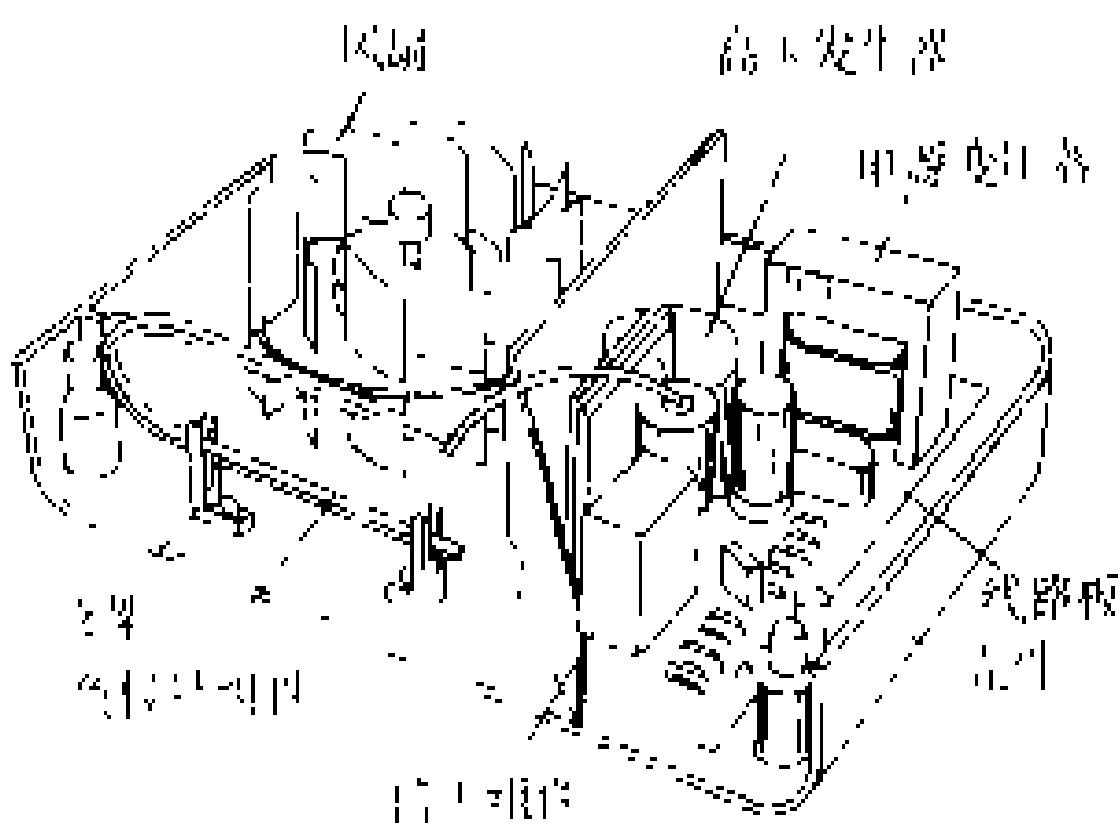


图 2 空气负离子发生器结构图

(孙彦昕)

kongqi jiashiqi

空气加湿器 (air humidifier) 一种用来增加室内空气中水蒸气含量，以提高空气湿度的空气调节器具（见家用电器）。它常用于家庭居室、环境试验室、计算机房等需要控制湿度的地方。根据工作原理的不同，可分为超声波式、离心式、热蒸气式和过滤气化式等不同形式的空气加湿器。

超声波式空气加湿器和离心式空气加湿器都是利用超声波振动把水激活，雾化为 1~5 μm 的超微粒子，使之迅速喷出，对空气加湿。它具有体积小、能耗

低、可控性能好、无噪声、使用维修简便等特点。但当水质较硬时，水中溶解的钙化物将随同雾化的超微水粒子一起喷出，污染空气。

热蒸气式空气加湿器是利用电加热使水蒸发对空气加湿。其加热方式分电热式和电极式两种。电热式加湿器是利用电加热器加热，使水沸腾汽化加湿。电极式加湿器是通过水中的通电电极，使水沸腾汽化对空气加湿。热蒸气式加湿器水中溶解物不易喷出，但耗电较多，是比较成熟的、常用的一种加湿方式。

过滤气化式空气加湿器是利用涡轮风扇吸入室内的干燥空气，使之流经浸湿的过滤器，由于水分的自然蒸发，使空气变湿，再排入室内对空气加湿。这种加湿器耗电少，噪声小，结构紧凑，水中溶解物不易喷出，且具有冷却空气的作用。

(姜俊明)

kongqilian

空气帘 (air curtain) 一种能形成一股气流将室内、外空气隔离，用以防止外界空气进入空调房间或冷冻、冷藏库内的气流空气调节器具（见家用电器）。它具有保温、保湿、防尘、防虫、防有害气体的功能，同时又不影响室内、外人员和物体进出。空气帘采用单相 220 V 电源，功率分别为 80 W 和 120 W，噪声为 65 dB (A) 和 67 dB (A)。

空气帘主要结构有外壳、风机、导风口、控制开关等。风机可高速或低速运转，风速一般可达 10~15 m/s。该设备安装于门框上，能产生一定宽度和厚度的高速连续气流。风速可根据需要进行选择：当只用于保温或保湿时，选用低速；当用于防尘、防虫、防异味时，选用高速。送风的方向也可进行调节：当向室内供暖时，转动导风口，风口向外；当向室内供冷时，转动导风口，风口向内。

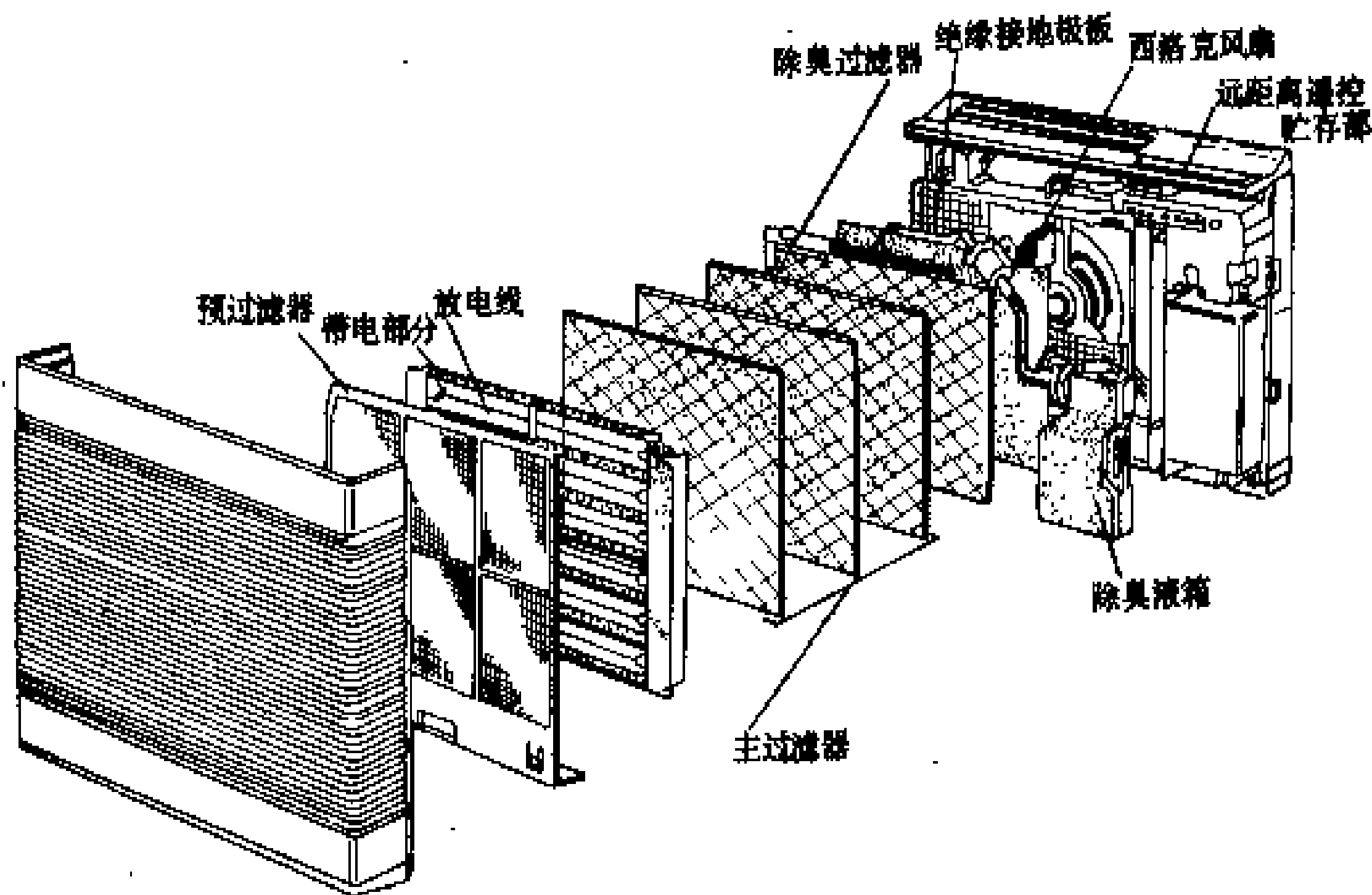
空气帘广泛用于电子、仪表、纺织、机械、化工等行业安装空调的场所，尤其适用于饭店、宾馆、商场、影剧院及冷冻、冷藏库。

(冯玉琪)

kongqi qingjieqi

空气清洁器 (air cleaner) 一种用于除去空气中微小尘埃 (0.01~0.2 μm)、细菌、烟臭等，使空气变得清新的空气调节器具（见家用电器），又称空气净化器。一般分为电气式和过滤式两种。器具内也可安装负离子发生器部件和防菌过滤部件。

空气清洁器主要由除尘过滤部分（预过滤器、主过滤器）、除臭过滤器、风扇等部分组成（见图）。工作时，风扇运行吸入室内污浊空气，经过预过滤器除



空气清洁剂结构分解图

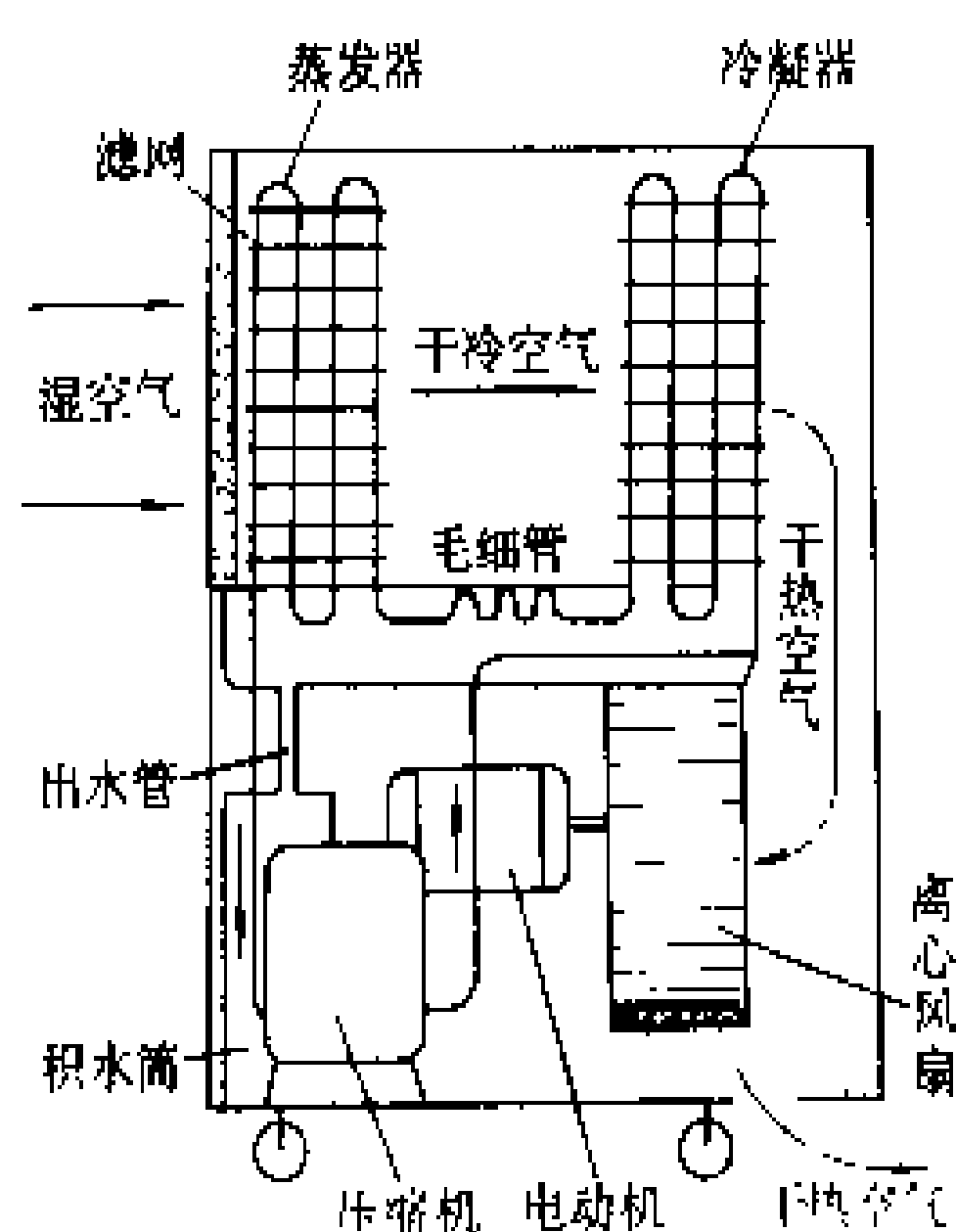
去空气中大的灰尘，然后使微米以下的细尘带电，被牢牢吸附在过滤器电极板上，以去掉微小尘埃。除臭过滤器采用活性炭或化学除臭方式，去除空气中的臭味，净化后的空气返回房间中。装有负离子发生器的空气清洁剂可产生负离子，创造有利健康的、舒适的室内空气环境。还有的空气清洁器上装有抗菌过滤部件，可防止附着在过滤器上霉菌的繁殖，具有抗菌、防臭作用。

(姜俊明)

kongqi qushiqi

空气去湿器 (air dehumidifier) 一种用来除去室内空气中多余的水分，降低空气湿度的空气调节器具(见家用电器)。它主要由制冷系统、空气去湿部分和电气控制部分组成(见图)。

工作原理 在离心风扇作用下，室内湿空气通过



空气去湿器工作原理

循环，对空气去湿。

使用条件 空气去湿器一般在室内温度 15~30℃，空气相对湿度 50%以上或空气露点温度不低于 4℃的条件下使用。其去湿量与使用的房屋面积有关。在下列条件下可按下表选用空气去湿器。

- (1) 室内空气相对湿度保持在 60%；
- (2) 室内没有产生水蒸气的器具；
- (3) 房间门窗除人出入外都应关闭；
- (4) 房屋结构为普通住宅；
- (5) 空气去湿器进出风口通畅。

去湿量与房间面积的关系

去湿能力 (kg/日)	房间面积 (m ²)	去湿能力 (kg/日)	房间面积 (m ²)
2	4~7	6.3	13~21
2.2	5~7	7.1	15~23
2.5	5~8	8.2	17~26
2.8	6~9	9.0	19~30
3.1	7~10	10.0	21~33
3.5	7~11	11.0	23~36
4.0	9~13	12.0	26~39
4.5	10~15	14.0	30~46
5.0	11~16	16.0	35~52
5.6	12~18	18.0	35~59

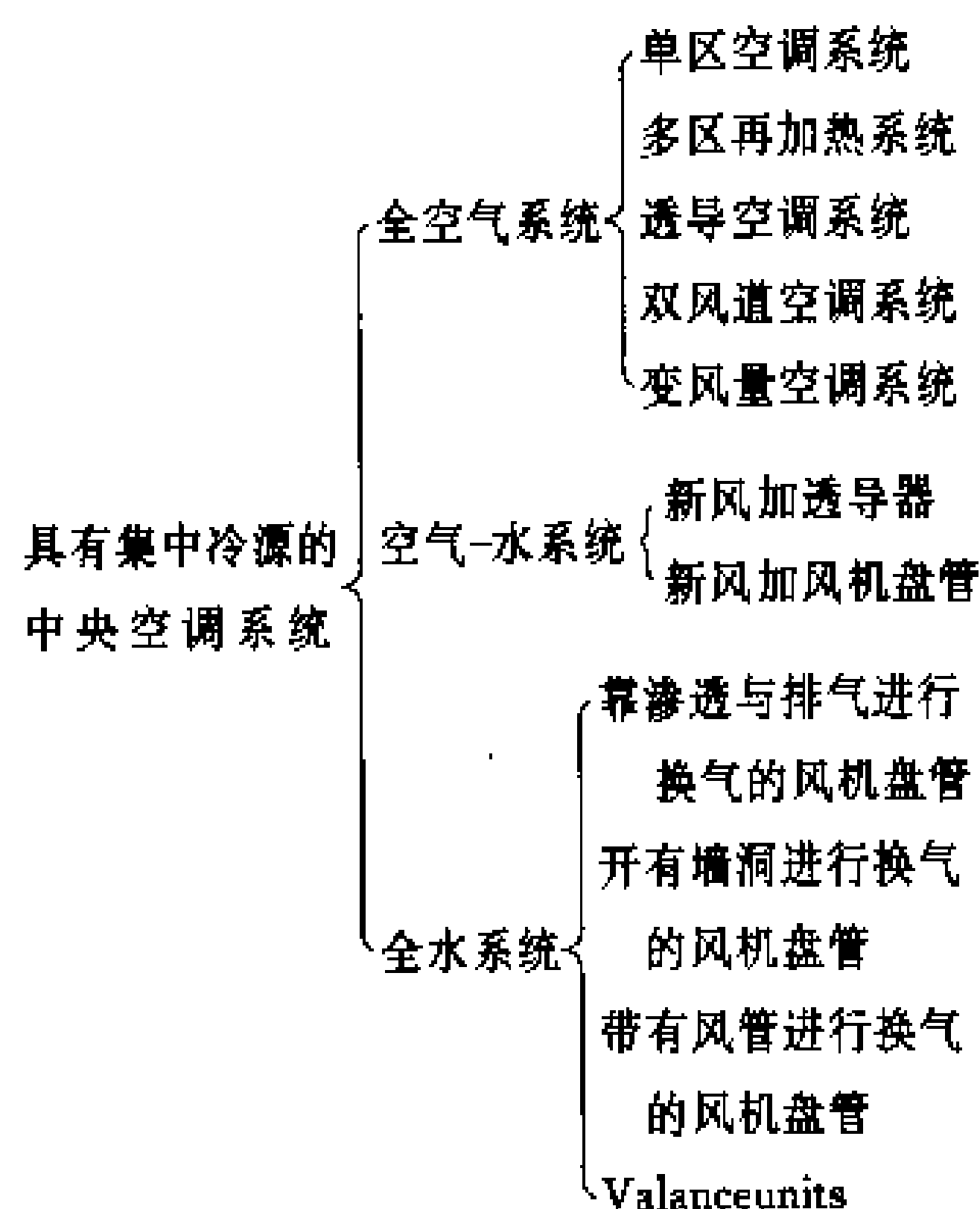
按上表选用的空气去湿器，使用单相交流 220 V 电源，其消耗功率小于 500 W。

(姜俊明)

kongtiao jiedian jishu

空调节电技术 (air conditioner technology saving electricity) 降低空气调节装置电能消耗的措施与方法。空气调节器，简称空调。空调装置是使室内空气的温度、相对湿度和清新度等控制在允许范围内的一种设备，包括空调机组，空气处理装置、末端装置以及将上述装置相互连接起来的风管、水管。空调装置按控制方式和输送介质的不同，可分为如下几类。

- 自带冷源的分散空调装置
 - 窗式空调器
 - 柜式空调器
 - 屋顶空调机组
 - 多个末端分离式机组
 - 用水环路连接的热泵



从1920年美国在电影院首先采用空调装置开始，空调已有70余年的发展史。使用空调的目的—是为了保持室内，如礼堂、剧院、宾馆、饭店、商场、医院、体育馆等场所空气环境的舒适性；二是为使生产厂房如纺丝车间、电子元件生产车间、计算机房等场所内的空气环境维持在工艺所需的条件，以提高产品质量、改善劳动条件，提高劳动生产率。自从70年代石油危机以后，随着能源成本的增加，空调节能节电的问题引起了普遍的重视。中国在70年代以前，只发展满足生产要求的工业性空调。随着改革开放，舒适性空调逐渐发展，先在外事活动或涉外的旅游宾馆中安装，80年代末，空调开始进入居民家庭。在大型场所如宾馆、体育馆、商场、车间等一般采用有集中冷源的中央空调系统。居室和小型场所，则采用自带冷源的分散空调装置，如窗式空调器，柜式空调器。

空调装置的节电途径与措施主要有减少空调的冷、热负荷、提高空调装置的运行效率和采用蓄冷技术。

(1) 减少空调的冷、热负荷。主要方法有：①改善建筑物围护结构的热工性能与光学性能，如采用保温性能好的材料砌墙体和屋顶；采用外遮阳措施，减少透入室内的太阳热；采用有热反射涂层的外窗与外门；采用门窗密封条等。②采用高效冷光源，选择合适的照度；采用钥匙控制开关来控制室内主要用电器具。

(2) 提高空调装置的运行效率。主要方法有：①选择单机效率高的制冷机、风机、水泵电机等设备；②单机容量和台数可与冷(热)负载变化规律相匹配，实行经济运行；③采用经济合理的调速方式，使单机与系统保持在高效区运行。

(3) 规定合理的温、湿度标准，采用多功能温控器，对室内的空气温、湿度进行自动调整。

(4) 对风管进行保温隔热，消除漏风，减少系统的循环风量。

(5) 回收排风中冷量(或热量)，用于对新风量的预冷(或预热)。

(6) 中央空调系统可采用蓄冷技术，即可采用蓄冰(或冷冻水)制冷方式运行。它是利用夜间电网低谷负荷时的电力制冰(或冷冻水)，将制得的冷量储存起来，待到白天电网高峰负荷时将冰(或冷冻水)储存的冷量交换出来调节空气温度，这样电网高峰负荷可不开或少开制冷压缩机，将空调高峰用电转移到电网低谷负荷时，既可缓解电网高峰负荷时电力不足或可少装机组，又可利用夜间气温低、制冷单耗小的有利因素节约用电。冰蓄冷或水蓄冷的空调系统在美国等国家已推广应用10多年。中国从20世纪90年代初，已搞了一批空调蓄冷技术的示范工程。空调蓄冷技术适用于宾馆、饭店等有中央集中空调系统场合，也适用于纺织、制药行业需用冷冻水的企业，办公楼、商场、影剧院、体育场馆等非全天用冷地方的空调系统采用蓄冷技术的节电效果更佳。

(蒋凤铎 徐纪法)

kongzhi dianji

控制电机 (control motor) 在运动控制系统(对位置、速度、加速度、力或力矩进行精确控制的系统)中作执行元件、检测元件、反馈元件、变换元件、放大元件用的各种电机和在解算系统中作解算元件用的各种电机的总称。中国曾称为控制微电机，指在自动控制系统和解算系统中使用的各类电机的总称。微电机是指折算到1000 r/min、连续额定功率750 W及以下或机壳外径不大于160 mm或轴中心高不大于90 mm的电机。但实际上，随着控制系统的功率和使用范围的扩大，不论是军用还是民用控制系统中使用的电机，从功率、重量、体积方面都早就超出“微”的范围。

控制电机作为传感器、执行器及电源设备广泛地应用于运动控制系统中以适应旋转、直线、往复、摆动、平面等运动的需要。在军事装备、航空航天装备以及机器人中都起着十分重要的作用。在20世纪60年代，约95%的控制电机用于军事装备，至今美国的产品仍采用军用标准。70年代以来这种状况正在变化，80年代工业上应用的比重上升至60%~70%。在机床控制、过程控制以及其他工业领域用以提高自动化程度、降低劳动消耗和提高质量。按军用标准要求，控制电机的工作寿命仅为1000 h或只有几年，而工业应用要求则长达10年或20年，且价格较低。

发展简史 1879年德国E.W. 西门子(Ernst

Werner von Siemens)和J. G. 哈尔斯克(Johann Georg Halske)在英国获得第一个自整角机专利。1913年美国通用电气公司首次将自整角机用于巴拿马运河上,指示各控制站的闸门护板及测量水位浮标。同年,俄国“安德烈一世”号战斗舰电报机中使用自整角机。1918年飞机上首次使用测速发电机。40年代前后形成了自整角机、旋转变压器、伺服电动机和测速发电机等门类的基本系列。1949年美国国防部军械局颁布第一个自整角机的技术条件。40年代以来逐步形成了较成熟的理论,如自整角机同步随动理论、旋转变压器逐级串接解算原理、伺服电动机稳定运行理论、增量运动及其控制理论等,从而促进了这个领域的产品迅速发展。到60年代前后,一些典型控制电机的理论、设计和标准大致完善,机座号、外形尺寸、安装方式和主要技术指标逐步统一。自60年代起,又出现多种适应特殊要求和数字控制技术的高精度、高灵敏度和高可靠性新品种,如步进电动机、力矩电动机等。自70年代以来,电子技术与电机技术的结合发展很快,出现了机电一体化的崭新产品,例如开关磁阻电动机、采用电子细分微步技术和电子阻尼线路以缩小步距角的步进电动机等。显著扩展了控制电机的功能和应用范围。

中国在1949年以前没有控制电机的制造能力。1949年以后,上海新成电器厂、上海新安电机厂、上海福光电机厂为雷达系统配套生产了自整角机。1951年中南电工厂(即湘潭电机厂)生产三相1/20马力(36.78 W)自整角机14台,这是中国控制电机的萌芽。1954年哈尔滨电机厂制造出第一台ZKK—25交磁电机放大机。60年代中期,中国已有9类系列产品,形成了第一代控制电机系列产品。此后,在仿苏的基础上,开始转向收集分析世界工业发达国家的构成、技术特征、精度水平、应用状况、标准规范、发展趋势等资料,把技术水平提高到一个新高度。70年代末,共有14类、734个规格自行设计的新系列产品问世。80年代以来,中国的控制电机产品质量朝着国际标准的新水平迈进。国产控制电机已基本上能满足国家经济建设和国防建设的需要,在完成海上发射运载火箭、通信卫星、“运八”飞机和大型轧机等尖端项目中发挥了重要的作用。

分类 控制电机的品种繁多,大致可分为以下14类。

(1) 自整角机。按结构分有有刷和无刷;按功能分有自整角发送机、自整角接收机和自整角变压器;按运行特点分有控制式、力矩式和差动式;按极对数分有单对极和多极;此外还有双通道自整角机、多线自整角机等。

(2) 旋转变压器。按输出电压与转子转角的函数关系分为正余弦旋转变压器、线性旋转变压器、特殊函数旋转变压器和比例式旋转变压器;按功能分为旋变发送机、旋变差动发送机和旋变变压器;按结构分有刷和无刷;还有多极旋转变压器、双通道旋转变压器和磁阻式旋转变压器等。

(3) 感应移相器。按励磁相数分为单相和两相;极对数大于1的为多极感应移相器。

(4) 感应同步器。有旋转式和直线式两种。

(5) 测速发电机。有直流和交流两种。直流测速发电机又有永磁式低速直流测速发电机和无刷直流测速发电机。交流测速发电机又分同步和异步两种。同步测速发电机有永磁同步测速发电机和感应于同步测速发电机;异步测速发电机有阻尼测速发电机、积分测速发电机和比率测速发电机。此外,还有脉冲测速发电机和直线测速发电机。

(6) 伺服电动机。分直流和交流两种。直流伺服电动机按电枢结构又分无槽电枢、空心杯电枢和无铁芯直流伺服电动机。无铁芯直流伺服电动机还包括印制绕组直流伺服电动机和线绕盘式直流伺服电动机。此外还有宽调速直流伺服电动机。交流伺服电动机中,有采用异步电机结构的两相交流伺服电动机和采用同步电机结构的永磁交流伺服电动机和无刷直流伺服电动机。电机的运动部分作直线运动的叫直线伺服电动机,其中按弯圈原理工作的叫弯圈电动机。

(7) 步进电动机。有永磁式、磁阻式和混合式三种。按运动形式可分直线步进电动机和平面步进电动机(在一平面有限区域内作二维运动)。此外还有开关磁阻电动机,它具有定、转子凸极数相接近的大步距步进电动机结构,利用转子位置传感器通过电子功率开关控制各相绕组导通使之运转的一种机电一体化电动机。

(8) 力矩电动机。在低速、堵转状态下都能长期连续工作,直接驱动负载,以输出转矩为主要特征的伺服电动机。有直、交流之分。采用直流电机结构的叫直流力矩电动机;采用无刷直流电机结构的叫无刷直流力矩电动机;采用异步电机结构的叫交流力矩电动机。此外还有有限转角力矩电动机,这种电机当给绕组输入恒定电流时,在一定转角范围内输出力矩近似恒定。

(9) 轴角编码器。一种角位置检测元件,它将角位移、角速度转换成数字或电信号。轴角编码器有四种形式:接触式编码器(以接触码盘为基础的模数转换器)、光学编码器(以光学码盘为基础的模数转换器,按光电效应原理工作)、磁性编码器(按磁效应原理工作)和电容式编码器(按定、转子之间电容变化进行编

码)。轴角编码器按输出量分为增量式编码器(它输出串行脉冲信号,每个脉冲对应于转轴的一个规定的角度增量)和绝对式编码器(它输出并行数码,每数码对应于转轴的一个量化的角度)两种。

(10) 同步电动机。在正常运行时转速保持不变,且转速与电源频率成严格的恒定关系的交流电动机。它有磁滞式和电磁减速式两种。磁滞同步电动机由磁滞材料制作的转子,与定子旋转磁场作用产生磁滞力矩;电磁减速式同步电动机不必用机械减速齿轮,利用电机定、转子开口槽引起气隙磁阻变化的效应,而获得每分钟数十转或数百转的低速。

(11) 电机放大机。一种特殊结构的旋转直流发电机。对从各控制绕组输入的诸电信号进行加减运算;其误差经放大并以一定功率输出。在自动控制系统中作为旋转的功率放大元件。一般分为交轴磁场电机放大机、直轴磁场电机放大机和自差式电机放大机等。其中交轴磁场电机放大机简称交磁放大机,应用最为普遍。

(12) 直流稳速电动机。带有稳速装置的直流电动机,这种电机当电源电压或负载在一定范围内变化时,仍保持恒定转速。直流稳速电动机的稳速装置有机械稳速和电子稳速两种。电子稳速按其原理又可分为模拟式和数字式两种。如用电子换向取代机械换向,则制成无刷直流稳速电动机。

(13) 低惯量电动机。采用专门的措施,减小转子转动惯量的控制电机。有低惯量套筒形转子电机和低惯量无槽直流电机两种。

(14) 其他控制电机。有传输解算器(一种类似于自整角机和旋转变压器的交流控制电机,它可将三线自整角信号转换成四线旋转变压器信号,或相反)、直线差动变压器(一种基于电磁感应原理的直线位移检测元件,在一定范围内,它的输出电压与它的可动铁芯直线位移成正比关系)和温度补偿电机(采取某种补偿措施,以减小输出电压因温度变化而引起的误差的一种控制电机)等。

结构 控制电机的品种繁多,结构也各不相同。大体分为以下三类。

(1) 电磁式。属传统式控制电机结构,与普通电机相似,有定子和转子两部分,其间有气隙。控制电机的结构紧凑,要求定、转子的同轴度高,磁路对称和电路平衡。

(2) 组合式。多台不同控制电机的组合。例如将不同的旋转变压器、感应移相器、自整角机和伺服测速机组组成功能组件,用于近程导航设备。也可应用共磁路技术,将两台不同控制电机的绕组装置在同一铁芯上,输出特性能满足两者的要求。例如中国开发的

XFS、XBS 系列双通道多极旋转变压器,它能同时输出周期不等的粗级和精级两个位置信号,相当于两台旋转变压器的组合。它实现电气方式增速代替齿轮增速,从而使产品电气误差由角分级跃为角秒级,精度提高一个数量级,性能可与美国著名的 Clifton 公司产品媲美。这类电机不仅使用方便,结构紧凑,更重要的是提高了整机的性能。

(3) 机电一体化。控制电机与电子线路、微机的组合。例如开关磁阻电动机是利用转子位置传感器通过电子功率开关控制各相绕组导通使之运转的一种机电一体化控制电机。又如,以微机控制驱动电路的步进电动机,它能按预置程序运行。

基本要求 控制电机是在一般电机的理论基础上发展起来的,就电磁过程及所遵循的基本电磁规律而言,没有什么本质的区别。不过,一般电机的作用是完成机电能量的变换,对它们的要求是着重于起动和运行时的力能指标。而控制电机的作用是完成控制信号的传递和变换,对它们的要求则着重是运行的高可靠性、快速响应和特性的高精度。

(1) 高可靠性。常用使用寿命、失效率、可靠度和平均无故障时间等参数来表征。例如,元件的可靠性如果是 99.5%,则 40 个元件组成的系统可靠性仅有 81.8% ($0.818=0.995^{40}$),100 个元件组成的系统可靠性仅有 60.5%。一套自动控制系统要使用数十台甚至数百台控制电机,因此控制电机运行时必须有高可靠性。

(2) 快速响应。常用机电时间常数和灵敏度来表征。这些都直接影响系统的动态偏差、振荡频率和振荡时间。灵敏度是对应于单位输入信号的输出量大小,可用比力矩、比电动势、放大系数等表示,它愈大愈好。而起动电压、机电时间常数愈小愈好。

(3) 高精度。对于信号元件(转换信号的控制电机),精度包括静态偏差、动态偏差和使用环境温度变化、电源频率、电压变化引起的漂移;对功率元件(把信号转换为输出功率以及把电能转换为机械能的控制电机),精度包括特性的线性度和不灵敏区。

发展趋势 控制电机在军事装备、航空航天装备以及民用工业中都得到日益广泛的应用,其主要发展趋势有以下五个方面。

(1) 向智能化和多功能的方向发展,即微电子技术、计算机技术、信息控制技术与电机技术综合为一体而产生的机电一体化新产品,可实现整机最佳化、智能化,并扩展其功能。

(2) 采用新材料将推动控制电机发生巨大变革。新型稀土材料、非晶合金、陶瓷材料等的出现和应用将使控制电机的性能产生质的飞跃。

(3) 控制电机小型化,以便直接组装在主机内部成为一体,做到体积小、成本低、方便使用,促进其推广应用。

(4) 节能型和机器人电机将有长足发展。

(5) 随着控制系统功率和使用范围的扩大,控制电机的功率和品种将相应增加。

(金放玫)

kongzhi qifen dianzulu

控制气氛电阻炉 (controlled atmosphere resistance furnace) 人工控制炉内气体环境的电阻炉,又称可控气氛电阻炉。

炉内的气体环境叫气氛。气氛主要分自然气氛和控制气氛两类。自然气氛是指炉子工作过程中自然形成的气氛,主要由空气和炉料处理过程中产生的气体形成。金属在自然气氛中加热,其表面会氧化,钢还会脱碳。控制气氛是由人工从炉外送进某种特定成分的气体或其他物质形成的,在控制气氛中加热,其表面不但不会脱碳,而且根据需要还能渗碳、渗氮或同时渗入碳和氮(叫碳氮共渗)等,从而可提高零件的硬度、耐磨性、耐蚀性和疲劳强度。因此控制气氛现已得到广泛采用。

控制气氛 控制气氛的种类很多。形成控制气氛的方法主要有:①利用氢、氮、氩或氨等的高压瓶装气体;②用氨分解装置分解氨,利用其生成的氢氮混合气体,或再经燃烧处理后所得的气体(主要是氮);③利用适量空气与碳氢化合物(天然气、丙烷、丁烷)或煤气等混合,在一定条件下反应生成的气体(其中空气比例小,反应中须从外部吸收热量的叫吸热式气体;空气比例大,反应中释放热量的叫放热式气体);④利用直接向炉内送入其他物质(天然气、丙烷、甲醇、乙醇、丙酮、异丙醇、醋酸乙酯、尿素或煤油等)使之受热分解而形成的气体。以上这些方法常混合使用,以得到所需成分的气氛。如吸热式气体用于渗碳时常添加富化气——丙烷;使用工业氮时(瓶装氮、用制氮机或分子筛直接从空气中制取的氮等),常同时向炉内滴注有机液体,形成所谓氮基气氛,等等。

主要用来保护金属免受氧化或脱碳的控制气氛,如氢、氮、氨分解气氛、放热式气氛等叫保护气氛。能对钢件表面进行化学热处理——渗碳、渗氮等的气氛分别叫做渗碳气氛、渗氮气氛等。

送入炉内的气体或有机物质在炉内会发生化学反应生成几种简单气体的混合物。如渗碳气氛通常是 CO 、 H_2 、 H_2O 、 CO_2 、 CH_4 、 O_2 和 N_2 的混合物。某一种纯净的原料在炉内同样的条件下(炉子结构、炉内温度等)所形成的气氛,其各组分的百分比是一定的。一

定组分百分比的渗碳气氛对钢件进行渗碳,钢材表面的含碳量最终会趋于一个定值。这个值叫做气氛的碳势,以 $\%C$ 表示。渗碳气氛的碳势可以通过向炉内添加其他气体或有机物质以改变各组分百分比的方法加以改变,从而可实现对碳势,也就是对被处理钢件表面含碳量的控制。自动控制碳势的方法主要有三种:①用露点仪控制 H_2O 的含量;②用红外仪控制 CO_2 、 CH_4 的含量;③用氧势仪控制 O_2 的含量。目前以红外仪和氧势仪用得最多。渗氮气氛的氮势和氮势控制情况类似。能对碳势或氮势进行精确的控制,是这些控制气氛得到推广应用的重要原因。

炉体结构和设备配套 几乎各种类型的电阻炉都可以做成控制气氛电阻炉,常用的炉型是箱式、井式、罩式、滚桶式、传送带式、推送式、振底式、滚筒式等。炉体结构可分有罐和无罐两类。有罐式炉具有耐热钢炉罐。控制气氛只在炉罐内部,不接触电热元件和炉衬。这类炉子的优点是电热元件和炉衬的结构和所用的材料与普通电阻炉一样,炉气的消耗量较少,也较易控制,但需耗用耐热钢炉罐,炉子也不能做得太大或太长。另一类,炉内没有炉罐。控制气氛直接与电热元件和炉衬等接触。井式炉、罩式炉、滚桶式炉等多采用有罐结构,箱式炉、推送式炉等则用无罐结构。

与普通电阻炉比,控制气氛电阻炉结构上的特点是:①气密性好,可以减少炉气损失和避免炉气污染环境。②炉内配置风扇,以保证炉气均匀。③凡处于控制气氛中的构件,在材料选择上应考虑气氛的影响,如各种电热合金在控制气氛中的最高使用温度,通常比在空气中使用时要低,与渗碳气氛接触的耐火砖,其氧化铁含量要低于1%等。④对无罐渗碳炉,为防止碳黑析出使电热元件短路,常采用宽带波形电热元件,并用低电压(10~15 V)供电,或采用电辐射管(见电热元件),使与电源连接的电热合金不与炉气接触。⑤对炉气可燃或有害(主要是 CO)的炉子要采取相应的防爆安全措施等等。

在设备配套上,控制气氛电阻炉要配备气源装置,以便在炉内形成所需成分的控制气氛。气源装置有:吸热式气体发生装置,放热式气体发生装置,氨分解装置,瓶装气供应装置(常包括气体干燥器),有机液体滴注装置等。对采用渗碳(或渗氮)气氛的炉子必要时配备有碳势(或氮势)控制装置。控制气氛电阻炉还常与其他设备配套组成热处理生产线,以提高生产率。图1、图2和图3分别表示井式气体渗碳炉、箱式气体渗碳炉的一种炉体结构和由推送式气体渗碳炉为主组成的一条汽车齿轮气体渗碳生产线及成套机组。

历史和发展 控制气氛早在19世纪中叶就已得到应用。1850年英国出现气体保护无氧化加热技术。

1880 年提出氢气保护的钢材装箱退火法。1925 年英国人 H. H. 莱克 (H. H. Lake) 获得木炭气体发生装置的

专利。1925 年美国在滚桶式电阻炉中进行气体渗碳，在升降式电阻炉中实现铜的蒸汽保护光亮退火。30 年

代已有连续式无罐气体渗碳炉和碳势露点控制仪。到 60 年代，随着箱式气体渗碳炉、二氧化碳红外分析仪和滴注式气体渗碳炉等的相继问世，控制气氛电阻炉得到迅速发展，现在已成为机械零件热处理的最主要炉种。中国从 50 年代开始制造控制气氛电阻炉。开始是一些简易的碳势不能控制的井式气体渗碳炉和一些保护气氛炉。60 年代制成吸热式气体和氨分解气体发生装置，并研制箱式气体渗碳炉。1970 年前后制成以推

送式电阻炉为主的气体渗碳生产线并掌握碳势自动控制技术。80 年代中又制成渗氮炉和氮势控制仪等。

(齐 钢 蒋晓吉)

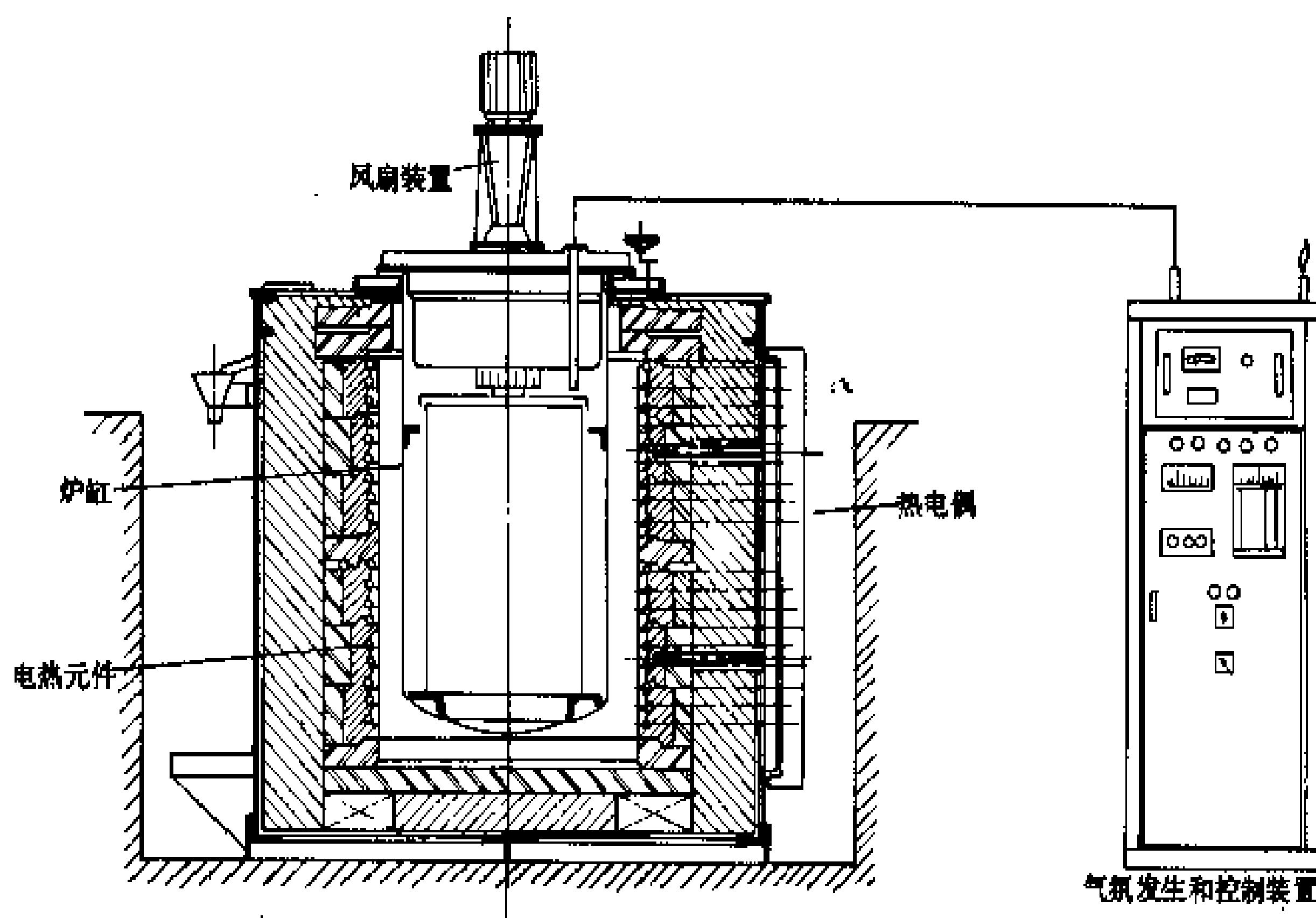


图 1 井式气体渗碳炉

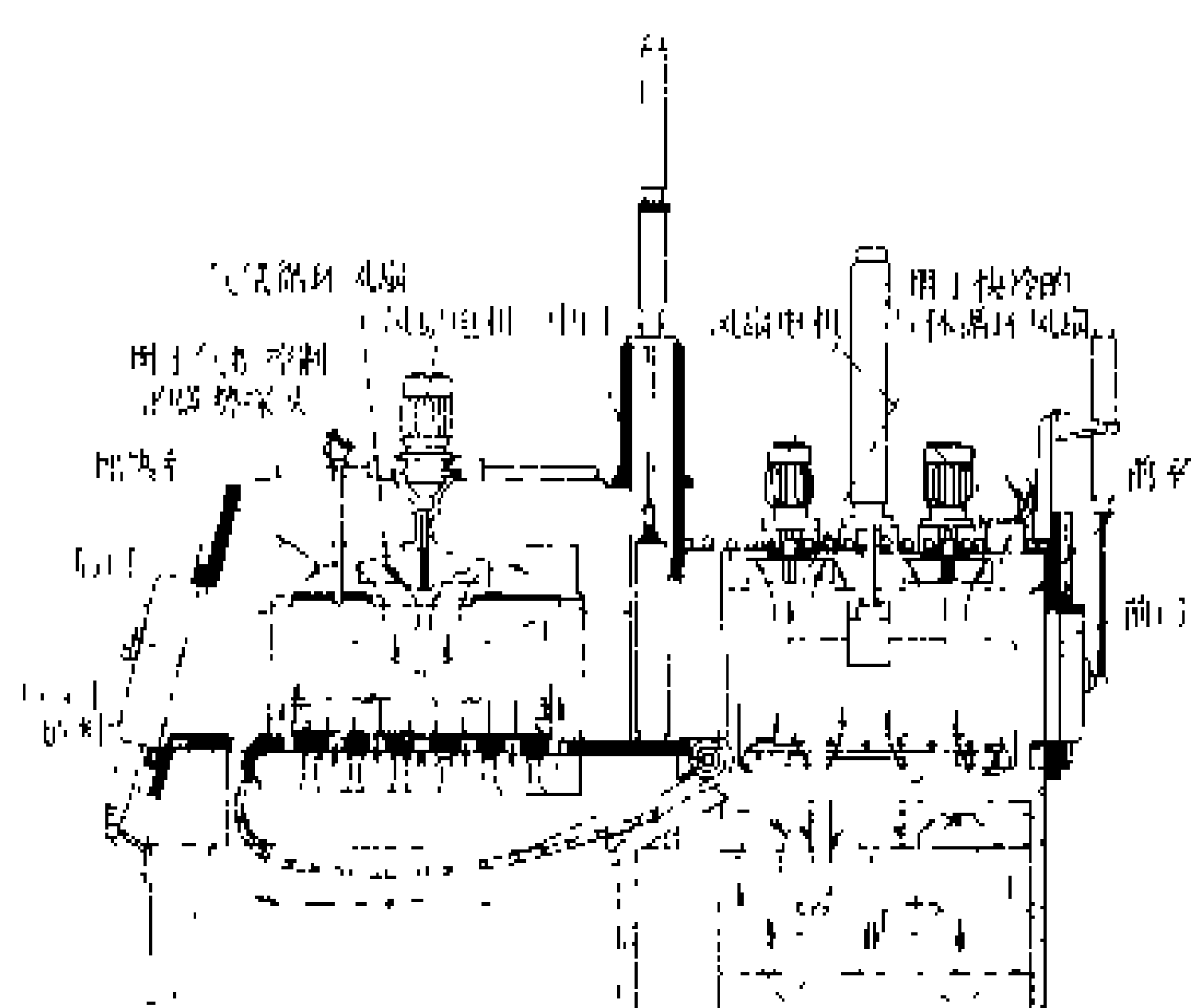


图 2 箱式气体渗碳炉的一种炉体结构

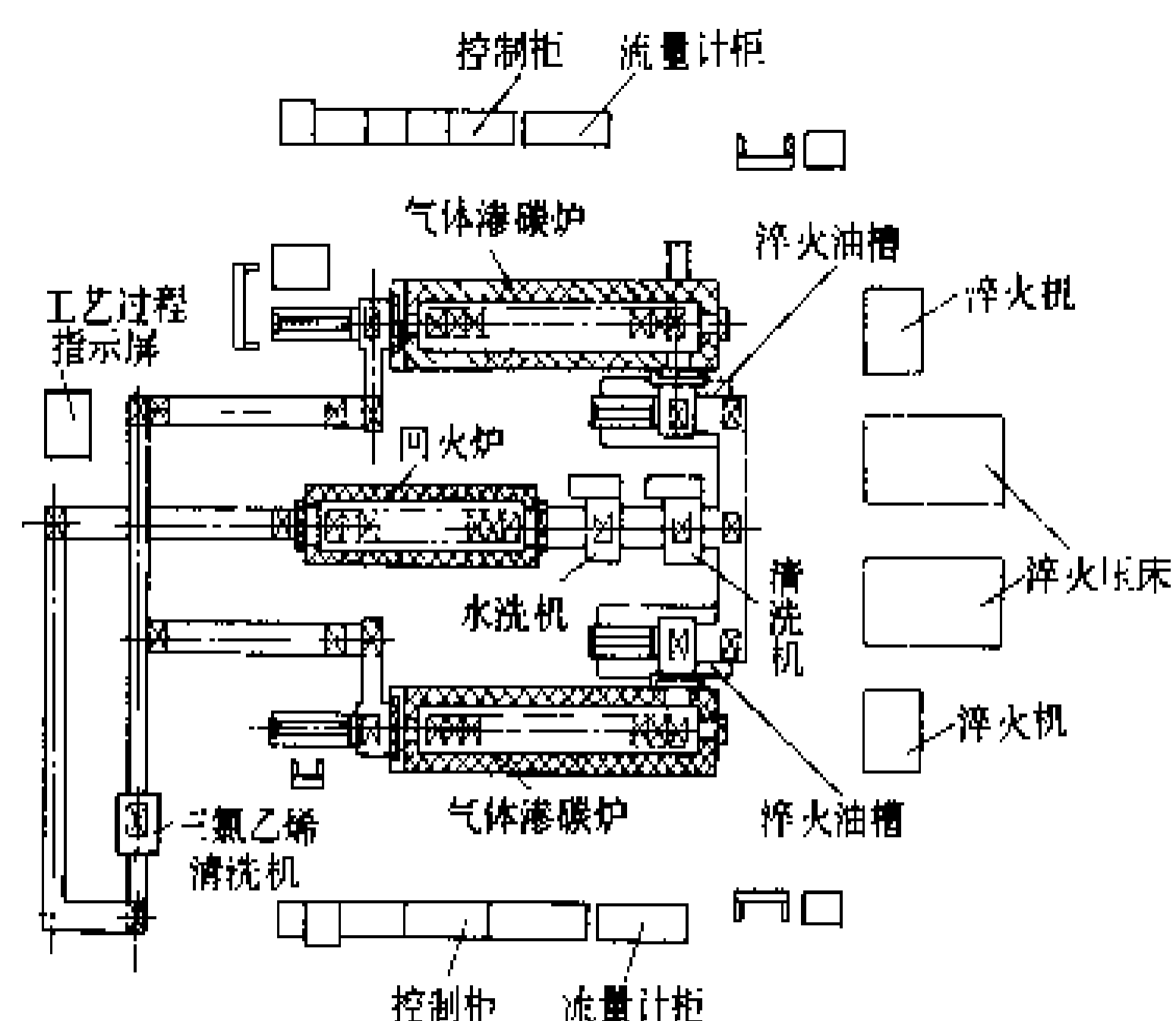
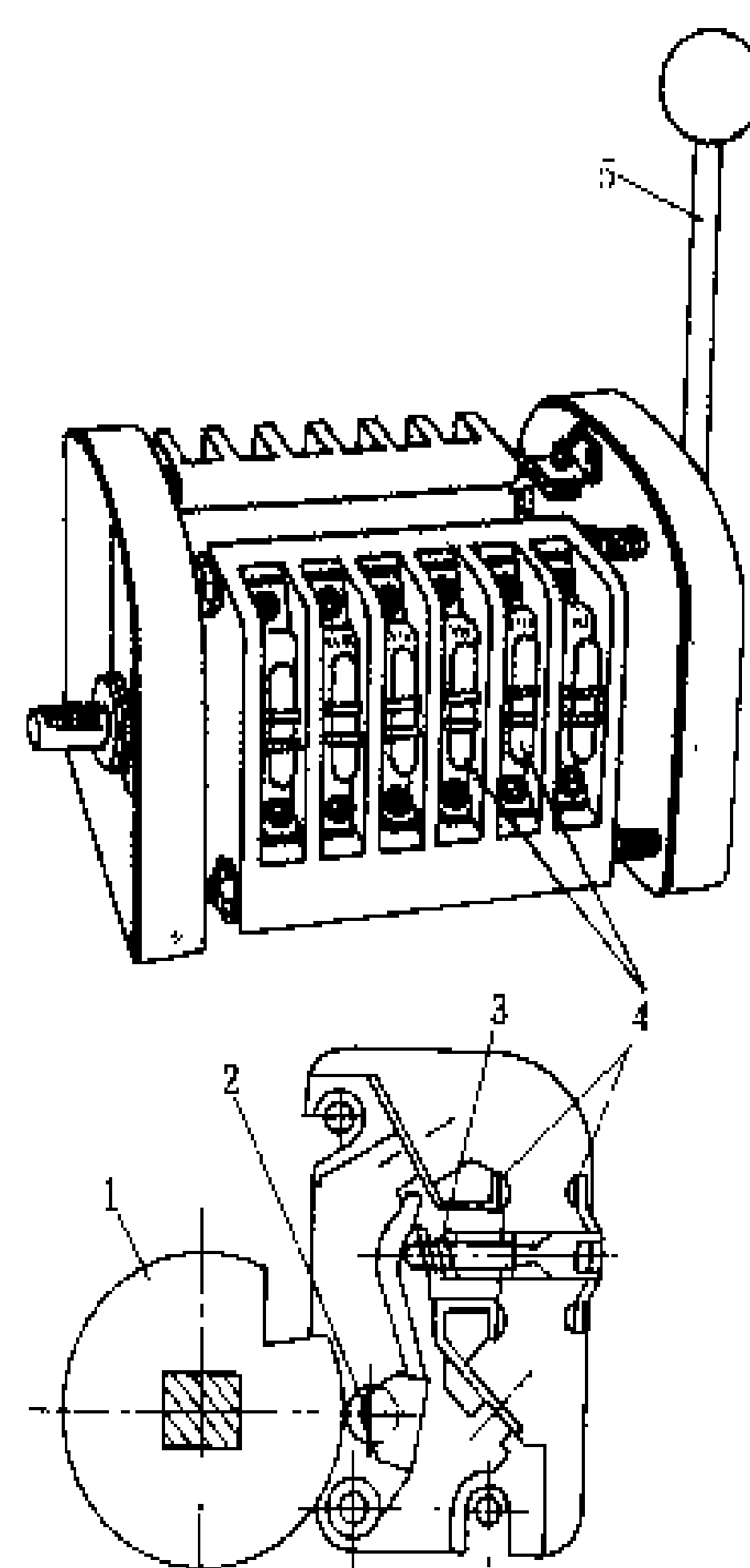


图 3 汽车齿轮气体渗碳生产线成套机组

kongzhiqi

控制器 (controller) 按照预定顺序改变主

电路或控制电路的接线和改变电路中的电阻值来控制电动机的起动、调速、制动和反向的主令电器。控制器由操作机构、凸轮、触头系统及壳体等部分组成 (见图)。操作手柄或手轮转动时带动凸轮轴的转动，凸轮轴上安装了形状或位置不同的凸轮，操作机构中有定位棘轮，使凸轮轴只能定位在规定的档位上。凸轮轴转动时使触头组



主令控制器结构图

1—凸轮；2—棘轮；3—弹簧；4—桥式触头；5—操作手柄

按规定程序分合,以控制电动机的运行。金属壳体做支承骨架和安全防护用。控制器分为凸轮控制器和主令控制器两种。

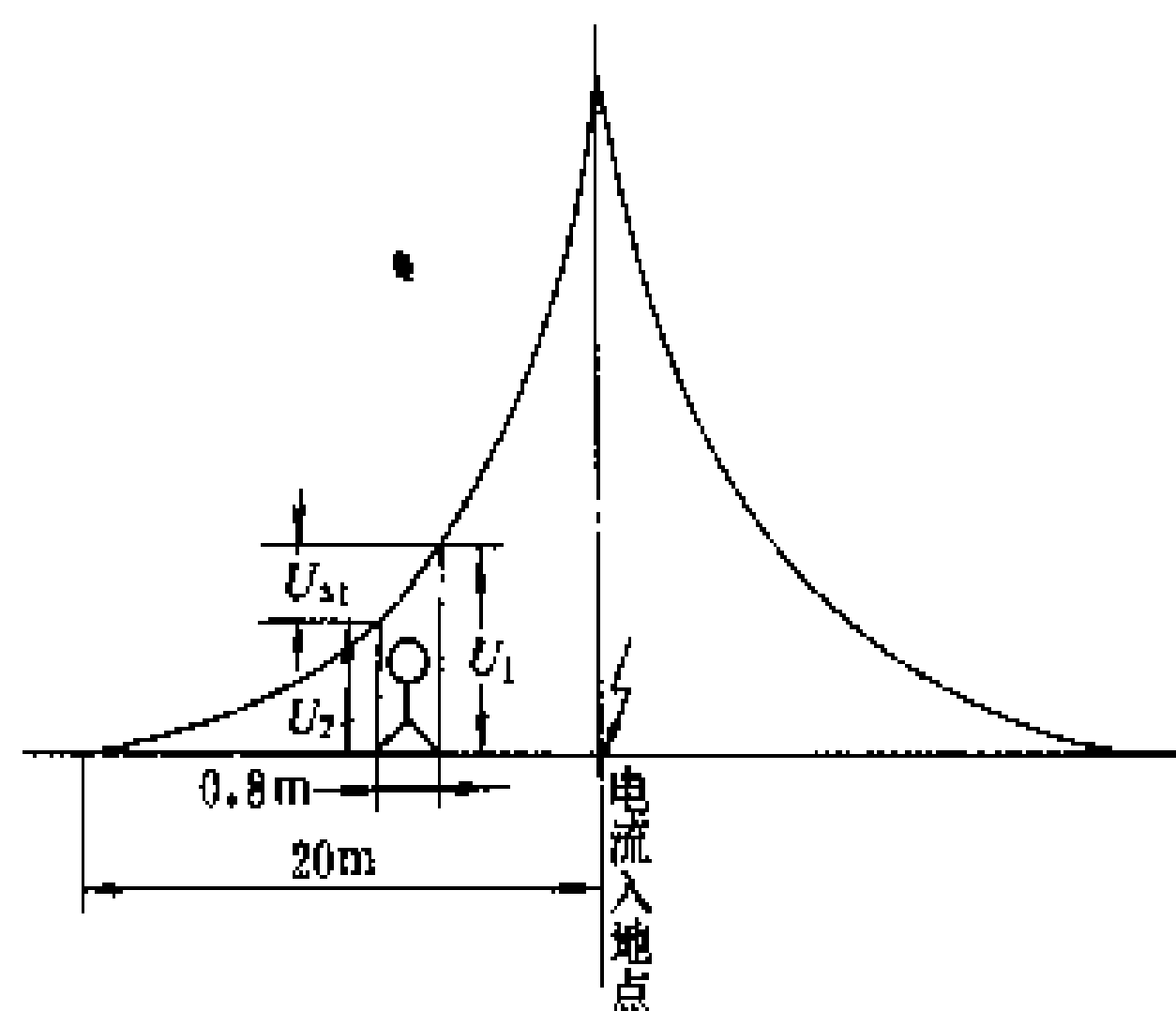
凸轮控制器的触头系统可直接通断主电路,相对而言通断电流较大,触头系统可带灭弧室。凸轮控制器的尺寸及操作力也较大一些,但一般只能用于控制容量不大于 30 kW 的中、小型电动机。

主令控制器与凸轮控制器不同的是它的触头系统设计成只能用来控制接触器,再用接触器控制电动机的各种运行。由于主令控制器不直接控制电动机的主电路,所以受控电动机容量不受限制。因接触器线圈的功率不大,所以主令控制器的触头系统不带灭弧室,操作力不大,整个结构尺寸相对较小。

(方鸿发)

kuabu dianya

跨步电压 (step voltage) 人活动在具有分布电位的地面,人的两脚之间所承受的电位差。电流通过接地装置向大地流散时,在大地表面上形成了以电流流入地点为中心分布电位。此时,人走在具有分布电位的地面上,两脚间约一步距离的两点间的电位差即为跨步电压(见图)。跨步电压主要产生于接地短路电流,也可能来自雷电流。



跨步电压示意图

跨步电压数值和人体与电流入地点的距离以及跨步大小有关。人的跨步一般按 0.8 m 考虑。人体距离电流入地点越远,跨步电压数值越小;当离开电流入地点 20 m 以外时,跨步电压接近于零;越接近,则跨步电压越大。其数值不允许超过规定的安全电压值。

降低跨步电压的措施有:①深埋接地极;②采用网状接地装置,并缩小接地网的间隔;③敷设水平均压带。

(陈金盛)

kuanbiaosu kongzhi

宽调速控制 (wide range speed control)

实现电动机调速的调速范围为 100 以上,并在低速时也能平稳运行的技术。调速范围是电动机调速系统的静态指标之一,它等于最高工作转速与最低工作转速之比。普通的调速系统在高速段工作时稳速精度较高,低速运行时的稳速精度指标严重恶化,而宽调速控制能使低速运行时的稳速精度达到要求。宽调速控制主要应用于机床特别是数控机床进给系统,以及天线伺服系统、仪表随动系统、转台随动系统等需要在宽转速范围下工作的控制系统中。如机床进给系统,其调速范围为 3000~30000。宽调速控制的实现主要是依靠适应宽调速运行要求的宽调速电动机及其相应的控制系统。

简史 第二次世界大战期间,机床的进给系统主要采用液压伺服机构作为驱动元件组成液压伺服系统。20 世纪 60 年代初,日本安川公司制成了小惯量电机代替液压伺服机构,发展为电伺服系统。从 70 年代初开始,英国、美国、日本、法国、联邦德国等国家,都先后研制和生产了宽调速直流伺服电动机,并广泛应用于机床。日本富士通公司于 1973 年引进了美国盖梯斯公司专利,并发展了自己的宽调速电动机。中国从 1975 年开始也研制成多种规格的宽调速电动机,并开发了新一代的宽调速直流伺服系统。

宽调速直流伺服电动机 宽调速系统的重要设备是电动机,应选用高性能宽调速直流伺服电机构成。这类电动机具有下列特点:力矩波动系数小,低速时可输出大转矩,电气时间常数小。(见伺服电动机)

(1) 力矩波动系数小。调速系统低速运行时,电动机的电磁力矩波动影响稳速精度。产生力矩波动的原因有两个:一是电动机齿槽引起的气隙磁导随转子位置不同而发生变化,从而使电动机力矩系数不为恒值,导致输出转矩随转子转动发生周期性波动;二是在换向宽度内换向绕组中电流与气隙磁场作用产生附加力矩。普通直流电动机力矩波动值与额定力矩的比值为 0.2~0.3,而宽调速直流伺服电动机的电枢槽数和换向片数都多,上述比值小于 0.03,有利于低速运行平稳。

(2) 低速时可输出大转矩。对机床进给系统来说,低速工作需承担切削时的负载力矩,负载转矩大;而高速工作为空程运行,负载转矩小。为减小电动机额定功率,在低速时使电动机过载运行,满足短时重切削的要求,其峰值转矩可为额定转矩 6~10 倍,具有较大的过载能力。宽调速直流伺服电动机选用矫顽力高、磁性能稳定的铁氧体,铝镍钴等永磁材料做磁极,并进行适当的磁路设计,使得在出现峰值电流时,不易去磁,且电枢的直径大、体积大、热容量大;选用耐高温的绝缘材料,电热时间常数大,因此具有较大的过载能力。



因此,该电动机低速时能输出大转矩,又有足够的力矩惯量比,不会损失最大理论加速度值,保证了系统的快速响应能力。

该电动机由于低速时输出转矩大,可以直接驱动负载轴,省去了齿轮传动机构,使机械结构简单可靠;消除了齿轮噪声和振动,提高了传动效率,降低了成本;消除了齿隙误差,避免了齿隙振荡,提高了系统放大倍数;由于没有齿轮轴弹性变形的影响,提高了耦合刚度,使系统的稳速精度得到提高,电动机的电枢直径大,电枢转动惯量大,可以与负载惯量较好的匹配,伺服系统容易调整,运行稳定。

(3) 电气时间常数小。电气时间常数 $T_e = L_a / R_a$, 其中 R_a 为电枢电阻, L_a 为电枢电感。由于 L_a 与极对数的平方成反比,电气时间常数 T_e 也与极对数的平方成反比。小功率宽调速电机通常设计为6极或8极,大功率宽调速电机可设计为10~14极,因而电气时间常数很小,有利于系统快速响应。

技术措施 为适应宽调速的要求,宽调速控制系统采取的措施主要有速度自适应调节器,采用电流限流型速度调节系统,动力润滑,增加位置外环。

(1) 速度自适应调节器。低速运行时,由于旋转体质量不均匀、机械振动、电机电磁力矩波动等系统内部扰动及负载扰动,会引起转速降落,使在某一段时间内转速为零,产生蠕动。对于具有电流环和速度环的三阶系统,可采用速度自适应调节器,使速度调节器的比例系数增大,积分时间减小,减小由上述扰动引起的转速波动、动态速降以及出现停转后的恢复时间。

(2) 采用电流限流型速度调节系统。在系统的启动、制动期间内电枢电流超过限流值,电流环起作用,相当于双环系统;在稳态运行时,电流在限流值之内,电流环不起作用,为速度单环系统,其抗扰性能好、响应快,有利于宽调速控制。

(3) 动力润滑。低速运行时,负载轴的摩擦力矩与电动机轴转速为非线性函数关系,转速为零时的静摩擦力矩大于转动时的动摩擦力矩,由静摩擦力矩过渡到正常转动时的动摩擦力矩,正是低转速区域所对应的摩擦力矩非线性变化区域。当系统的转速输入量低于某一较小值时,由于摩擦力矩的变化,使系统运行不平稳。动力润滑是变静摩擦为动摩擦,克服低速运行不平衡的有效方法。如采用晶体管脉宽调制放大器对电动机供电,当电动机转速低于某一较低转速时,电枢电流为交变电流,电动机处于高频微振状态,使负载轴总是处于动摩擦力矩状态下运行,改善了低速运动特性。

(4) 增加位置外环。在速度环具有良好性能的基础

上,增加位置外环可进一步提高调速范围。理论上最低转速值可接近于零。位置环有数字式及鉴相式两种,指令脉冲的频率决定于转速值,而且脉冲当量越小,电动机运行越平稳。

(陈元方 施传立)

kuangjing tishengji diankong xitong

矿井提升机电控系统 (electric drive control system for mine hoist)

用以实现矿井提升机正常运转的电力拖动和控制等电路组合的总体。矿井提升机(也称矿井卷扬机)是一种位势负载的生产机械,即不论运动方向如何,重力作用总是向下。这类机械具有短时重复工作、正反向频繁交替运行的特点,除需满足所规定的速度图(提升或下降速度随时间的变化曲线)及力矩图(电动机力矩随时间的变化曲线)以外,还需避免钢丝绳承受过度的拉力或钢丝绳发生打滑(对多绳提升机而言)。因而,要求电力拖动装置必须运行平稳,调速性能好,具备电动机在四个象限运行的工作状态;无论是轻载还是重载,提升还是下放,其过渡过程应平滑,没有冲击。

矿井提升机的电控系统包括电力拖动主回路,调速系统,运行、保护、故障处理等操作联锁线路等。其运行、保护、故障处理等操作联锁线路可以用继电器设备实现,也可借自诊断手段以微机来实现。其调速系统则依电力拖动方式的不同分为交流传动调速系统和直流传动调速系统。

交流传动常采用转子串电阻调速系统,其线路虽简单,但调速性能差,效率低,只适用于中小容量和性能要求不高的矿井提升机。对大容量或性能要求高的提升机,一般均采用直流传动。晶闸管直流传动不仅提供较好的技术性能,而且也具有较好的经济效果。

交流传动调速系统 矿井提升机的交流传动调速系统有绕线转子感应电动机转子串电阻调速系统和同步电动机变频调速系统两种。

(1) 绕线转子感应电动机转子串电阻调速系统。在绕线型感应电动机的转子回路内接入电阻,用切除电阻方法进行调速。制动时,感应电动机的定子绕组从交流电网切除,并接入直流电源,此时定子绕组在空间产生一个不动的磁通,而电动机转子在提升机惯性带动下继续旋转,转子绕组内将感应出电动势,感应电动机变成了以可变频率旋转的隐极式同步发电机。提升机蓄藏的动能将转变成电能消耗在转子回路外接的电阻上。随着外接电阻逐级减小,提升机的转速将逐渐降低,因此这种制动方式又叫能耗制动。电动机在动力制动时的电磁转矩是制动转矩,其大小是定子制动电流和转子电阻的函数。动力制动按外接直流电源不同,



有直流发电机组动力制动系统与晶闸管动力制动系统两种,大量采用的是晶闸管动力制动系统。晶闸管变流器动作迅速,制动过程可以做到接近给定速度曲线。图1为具有电流和速度双闭环晶闸管动力制动系统的原理方框图。

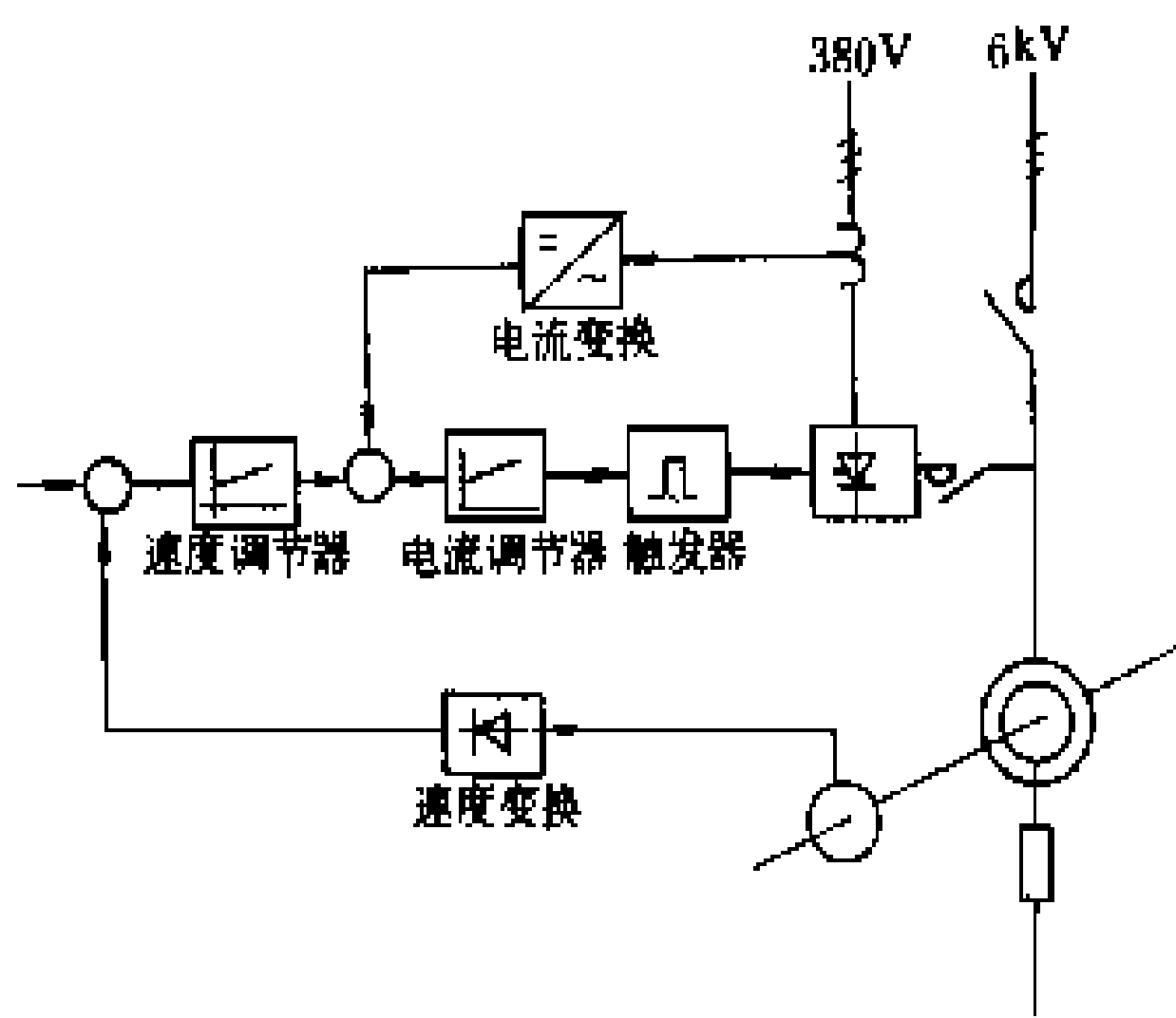


图1 绕线型感应电动机晶闸管动力制动系统

单纯的动力制动装置解决不了提升机要求的稳定爬行速度。为获得稳定的爬行速度采取的措施有:加装一套微电机(小容量的绕线型感应电动机)拖动装置、外加低频机组或晶闸管低频电源等。(见转子串电阻交流调速和交流电动机制动)

(2) 同步电动机变频调速系统。高性能的交流-交流变频器馈电式同步电动机传动系统将达到和直流传动相同的特性,该传动系统尤其适合低速工作,在驱动提升机械时,可取消减速器变为直接传动方式。由于交流电动机结构简单,还可以进一步把电机制成外转子型式,让外转子作卷筒,使机电合为一体,大大提高可靠性及减轻设备重量。大容量的提升机电控系统差不多均被这一系统所替代。

直流传动调速系统 矿井提升机的直流传动系统有发电机-电动机传动系统与晶闸管整流器-电动机传动系统两种。由于后者较前者有运行效率高、体积小、易于维护等优点,因之正在逐步替代前者。但晶闸管供电装置的运行功率因数低,对电网无功冲击大,产生的高次谐波影响电网电压波形,因此必需根据电网容量相应采取所谓“顺序控制”、12脉动/24脉动供电以及电网补偿的方法来加以改善。

直流传动调速系统采用典型的电流及速度双环系统。(见直流电动机调速)

直流传动装置可逆运行的实现可分电枢可逆及磁场可逆系统。加入电流及速度自适应环节,其目的是为了改善电流环品质并获得较好的速度调节性能。

图2是磁场无环流可逆系统的原理方框图,此种线路主回路设有取决于励磁电流控制的逻辑门,因之要求主回路与磁场回路两者的调节特性配合适宜,同

时磁场给定放大系数要求带负载时磁场在满磁工作。用于矿井1000 kW以上提升机的晶闸管直流传动装置大多采用类似的线路。

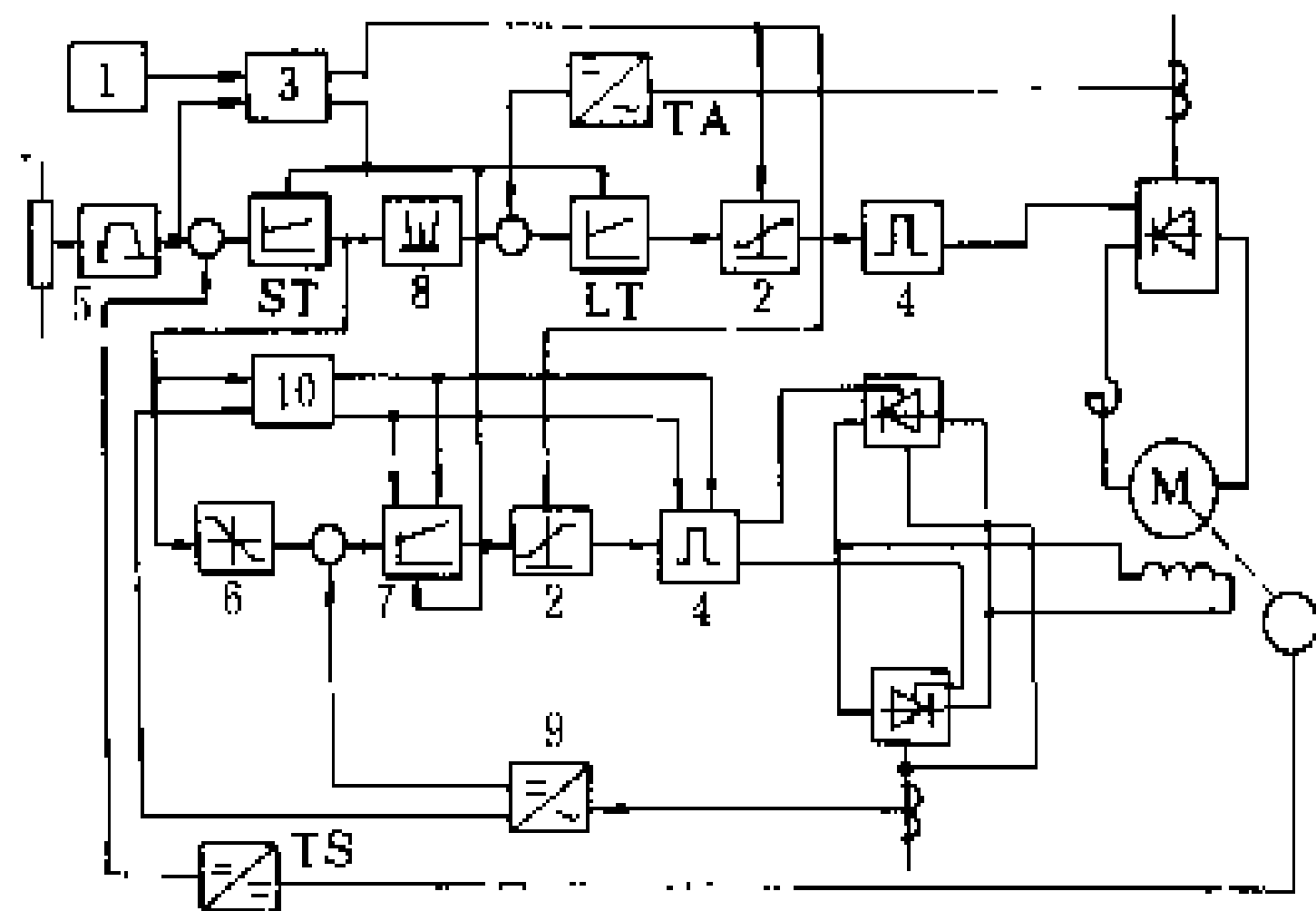


图2 磁场无环流可逆系统原理方框图

ST—速度调节器; LT—电流调节器; TS—速度变换;
TA—电流变换

1—比较器; 2—触发输入及保护; 3—运行控制; 4—触发器;
5—给定积分器; 6—磁场给定; 7—磁场电流调节; 8—极性变换;
9—磁场电流变换; 10—逻辑切换

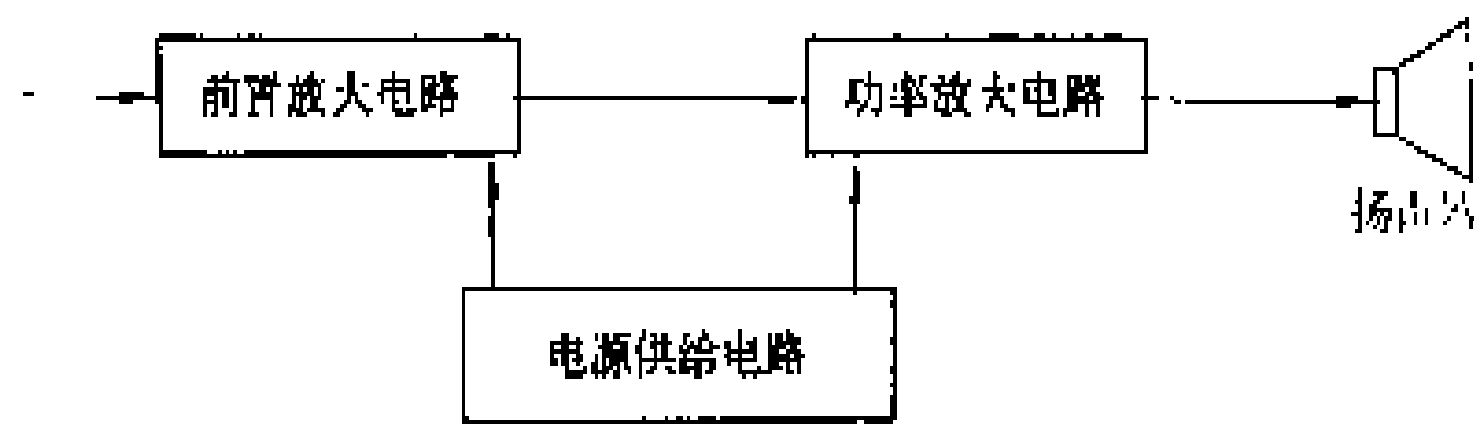
(葛和德)

kuoyinji

扩音机 (public-address amplifier) 一种音频信号放大器。它除了可与话筒、电唱盘、录音机、广播调谐器等各种信号源的输出适配外,还要向放音终端设备——扬声器(或耳机)提供足够的功率输出,并对重放音色、音量及立体声状态进行各种调整与控制。

扩音机不仅作为广播设备广泛用于公众场合,同时也越来越多地在家庭中使用。

扩音机的电路包括前置放大电路、功率放大电路和电源供给电路三部分,如图所示。前置放大和功率放大电路部分组成信号放大通道,电源供给电路部分为信号放大通道的工作提供电能。



扩音机电路框图

前置放大电路是一个电压放大器,用来放大来自各信号源的微弱电信号,并担负均衡电唱盘输出信号和完成对音量、音调的调节任务。完善的前置放大电路还具有响度控制、频率均衡、立体声平衡、噪声抑制、



声像宽度控制等功能。

功率放大电路的作用是放大来自前置放大电路的输出信号，以便产生足够的功率，驱动扬声器放音。

扩音机的负载是扬声器。扩音机与扬声器之间应

该达到阻抗匹配、阻尼系数匹配、功率匹配和功率储备量匹配。如果不能实现匹配，将可能产生放音失真、元器件损坏等不良现象。

(潘宗福)

L

lengdongxiang

冷冻箱 (freezer) 以电为动力, 带有制冷系统和隔热箱体, 能在一定时间内冷冻指定的定量食品, 并能储藏冷冻食品的制冷器具 (见家用电器), 又称冰柜。

冷冻箱主要用于各种鱼肉类食品的冷冻和低温贮存, 箱内温度在 -18°C 以下, 内部容积有 100, 150, 200, ..., 500 L 多种。

冷冻箱的基本结构由箱体、制冷系统和控制系统组成, 其制冷原理与电冰箱相同。冷冻箱的结构型式有立式和卧式之分。

立式冷冻箱内的食品从前部放入和取出, 其蒸发器构成箱内搁架 (见图), 经毛细管节流后的低压低温

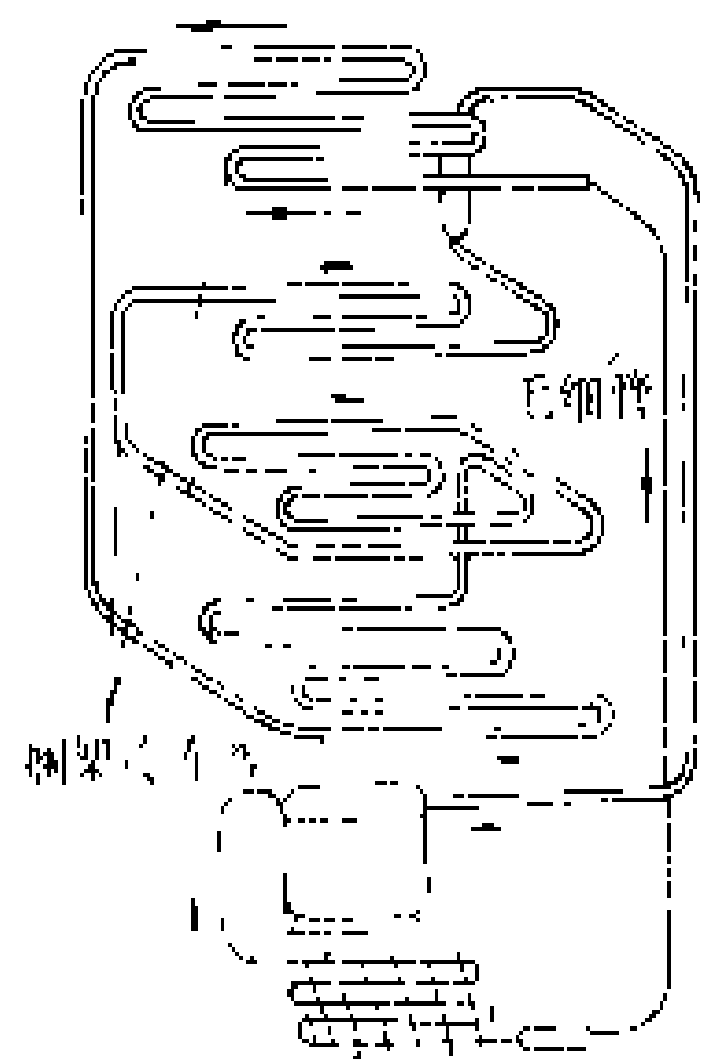


图 1 立式冷冻箱制冷系统

制冷剂经顶部搁架, 流入底部搁架, 再自下而上流经中部所有搁架, 对放在搁架上的抽屉式食品盒内的食品进行冷却。冷凝器设在冷冻箱下部, 用风扇进行冷却。

卧式冷冻箱内的食品从顶部放入和取出。其冷凝器沿外箱壁设置, 靠导热和对流, 将制冷剂携带的热量通过外箱壁传递给周围空气。也有的使用百叶窗式冷凝器, 靠自然对流或用风扇强制进行冷却。蒸发器沿内箱壁设置。冷凝器中液化的制冷剂经毛细管节流降压后, 进入蒸发器, 吸收箱内食品的热量, 使冷冻箱内的温度保持在设定的低温下。

(张友良)

lenglianzhaji diankong xitong

冷连轧机电控系统 (electric drive control system for cold tandem mill) 用以实现冷连轧机正常运转的电力拖动和控制等电路组合的整体。

冷连轧机是生产冷连轧带钢的机械。它将酸洗除鳞后的热轧带卷, 在 3~6 架串列式四辊或六辊轧机中, 于常温下单向一次连续轧制成厚度为 0.1~0.3 mm 的带材 (见图 1)。

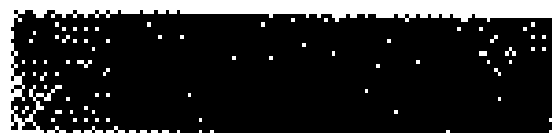
近代宽带钢冷连轧机产量大, 年产钢材 10^3 kt 以上 (全连轧机产量高达 2500 kt 以上), 带材公差达 $\pm 5 \mu\text{m}$, 轧制总压缩率 60%~90%, 轧制力 2.5 t, 轧制全过程维持大张力 (接近带材屈服极限), 单卷重量 40~70 kt, 全连轧机一个机架的电动机功率可达 8 MW。各机架通过所轧带材耦合成一个相互制约的多变量整体, 一旦某机架的干扰量 (来料厚度、材质、温度、……) 或调节量 (辊缝、轧制力、速度、张力、……) 发生变化, 既破坏了该架的稳态, 也破坏了整个机列的稳态。因此要求冷轧机电控系统调节快速、协调、平稳、可靠性高、调速范围宽、速度调节精度高 (达到相当于最高速度的 $\pm 0.04\%$)。

冷轧机电控系统有主机架电控系统、卷取机电控系统、压下控制、厚度控制和 90 年代发展起来的计算机综合控制系统。

主机架电控系统 主传动多采用晶闸管供电。为了提高快速性, 减少转动惯量, 对上下轧辊分别用 1~3 台直流电动机单独传动。冷连轧为单向轧制, 正常运转时电动机不需逆转, 但为了满足制动和张力的要求, 主回路仍用可逆系统, 其正反组容量可以不相等。整个控制系统有两个控制通道: 一个是电枢回路控制通道, 一个是磁场回路控制通道, 它们共同构成一个基速以下调电枢电压、基速以上调励磁磁通的高精度的速度闭环调节系统。为了在宽的速度调节范围内有高的动、静态精度, 设有与磁场控制、电枢电流断续相匹配的自适应校正环节、数字式速度给定及转速实际值校正环节、为了提高系统的速度跟随能力, 设置动态补偿和空载补偿环节。张力的恒定和调节, 靠改变机架间的转速比来实现。为克服穿带引起的电流冲击现象, 采取了软化外特性措施。对由于辊径、辊面、润滑等不同因素造成的上下辊负载不平衡状态, 设负载平衡调节回路校正。当换辊时, 电控系统变成自动转角位置控制, 以使轧辊扁头准确停在指定位置上, 误差不大于 $\pm 2^{\circ}$ 。

图 1 为主机架及卷取机电控系统示意图。

卷取机电控系统 为了提供钢卷整齐卷紧及获取优良板形所需的恒线速度和稳定的张力, 电控系统设有两种运行状态: 正常卷取时主导调节为张力调节, 穿带、分卷剪切和断带时张力消失, 系统转为速度调节。卷取机电机产生的转矩等于建立张力所需的张力力矩、卷取时使带材弯曲变形所需的弯曲力矩、加减速时的动态转矩以及机械磨损的转矩之和。在卷取过程中,



卷径逐渐增大,同时卷重、飞轮矩也在不断变化。为了与机架的运行协调,要相应降低卷取机的转速。为了避

轧机后的测量仪,直接测出轧制后的实际厚度值 h_0 并与设定的厚度目标值 h_s 相比较,用其差值 $\Delta h=h_s-h_0$

作为计算辊缝调节量 Δs 的依据。辊缝调节量 Δs 与 Δh 的关系为

$$\Delta s = \Delta h \left(1 + \frac{Q}{k} \right)$$

式中 Q 为轧件塑性系数; k 为轧机刚性系数。

用 Δs 连续反馈控制压下装置以使轧件厚度符合公差要求。由于测厚仪距轧辊中心线有一定距离 L ,故这种厚度控制方式传递信息有滞后现象。

(2) 厚度计式(GM)。如图2(b)所示,用压力传感器和位置传感器测出轧制过程中的辊缝 s 和轧制力 p 、空载时设定原始辊缝 s_0 和轧制力 p_0 ,计算出差值 s'_0 和 $\Delta p/k$,再通过轧机弹跳方程算出轧件出口实际厚度 h_0 ,即

$$h_0 = s'_0 + \frac{\Delta p}{k}$$

用 h_0 与设定厚度目标值 h_s 比较,算出辊缝调节量 Δs ,控制压下装置消除厚差。这种利用测厚计原理的间接测厚方法,实质上是将整个轧机机架作为测量轧件厚度的测厚计,方法简单,没有取样滞后的缺点。但由于有轧辊磨损和热膨胀、轴承间隙等因素可能使

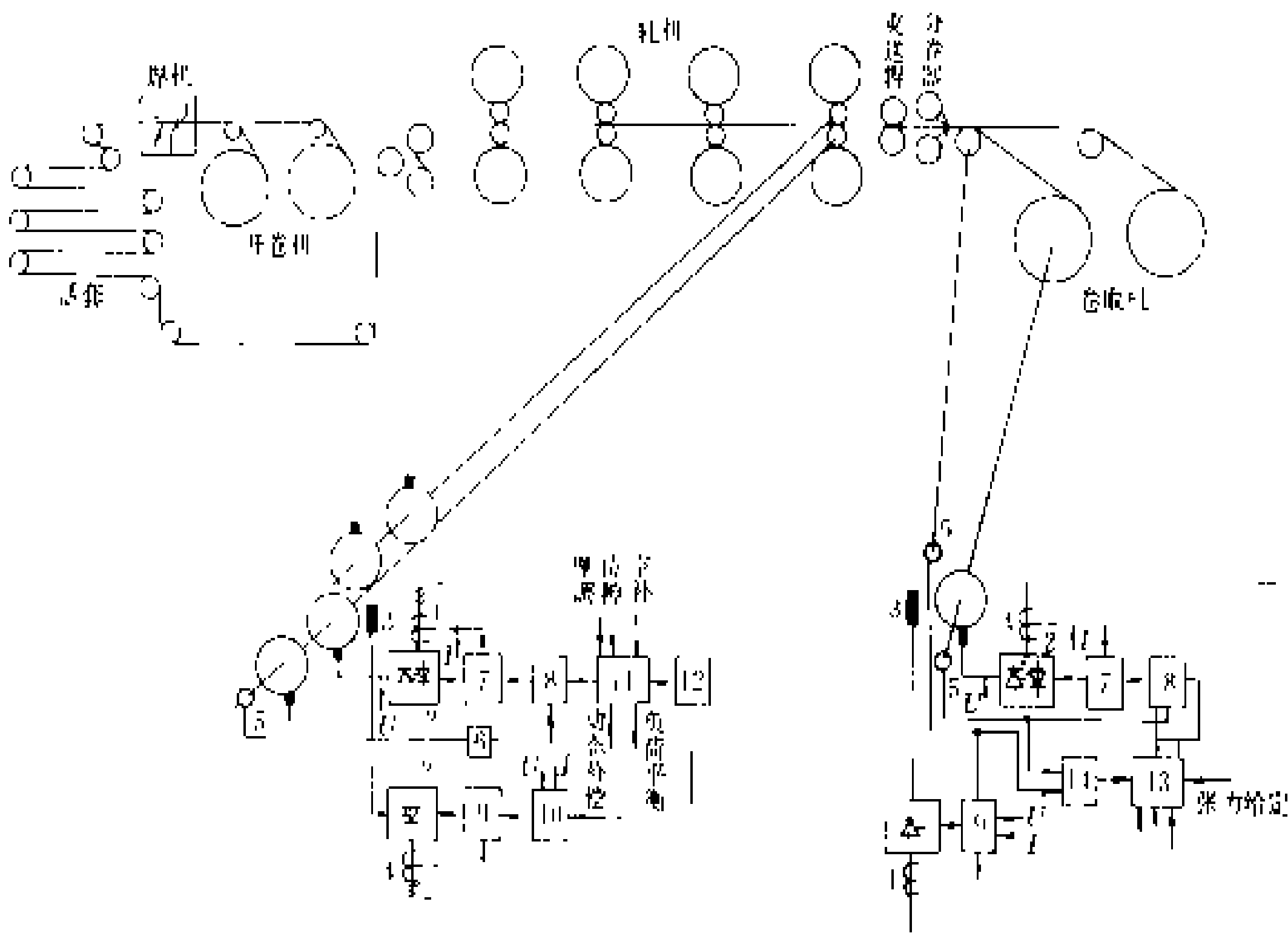


图1 主机架及卷取机电控系统示意图

1—直流电动机;2—晶闸管供电装置;3—电机磁场;4—电流检出;5—转速检出;6—转速数字校正;7—电流调节器;8—速度调节器;9—磁通调节;10—电动势调节;11—综合控制;12—数字给定;13—力矩调节;14—卷径计算

免钢卷外层与内层因卷紧程度的不同而出现的“塌卷”现象,要随着卷径的增大而逐渐降低卷取张力值,降低的数值与带材的厚薄、材质的软硬、卷后是否进行退火处理有关。与用卷取电动机的电枢电流进行间接张力控制不同,卷取机电控系统可从张力计取信号进行直接张力控制,具有响应快和简便的特点。

压下控制系统 调整辊缝可改变轧制力,以控制厚度。电-液伺服阀控制的液压缸已取代过去的电动压下螺丝进行位置控制。电动压下的响应时间为 $0.14 \sim 0.2\text{ s}$,而液压压下惯性小,响应时间在 0.02 s 以下,位控更准确,几乎在轧机弹跳同时就给予压下补偿,保持辊缝恒定。位置给定值来自计算机程序,由精度 $\pm 2\text{ }\mu\text{m}$ 的位置传感器提供闭环控制所需的反馈值。位置控制还可校准轧辊的倾斜度,以获得良好板形。用装在液压缸上的压力传感器实测的轧制力,进行轧制力闭环控制。

厚度自动控制系统(AGC) 根据“通过各机架金属秒流量恒定”的原则设计。AGC按调节手段不同可分为压下AGC(主要有反馈式、厚度计式和前馈式三种控制方式)和张

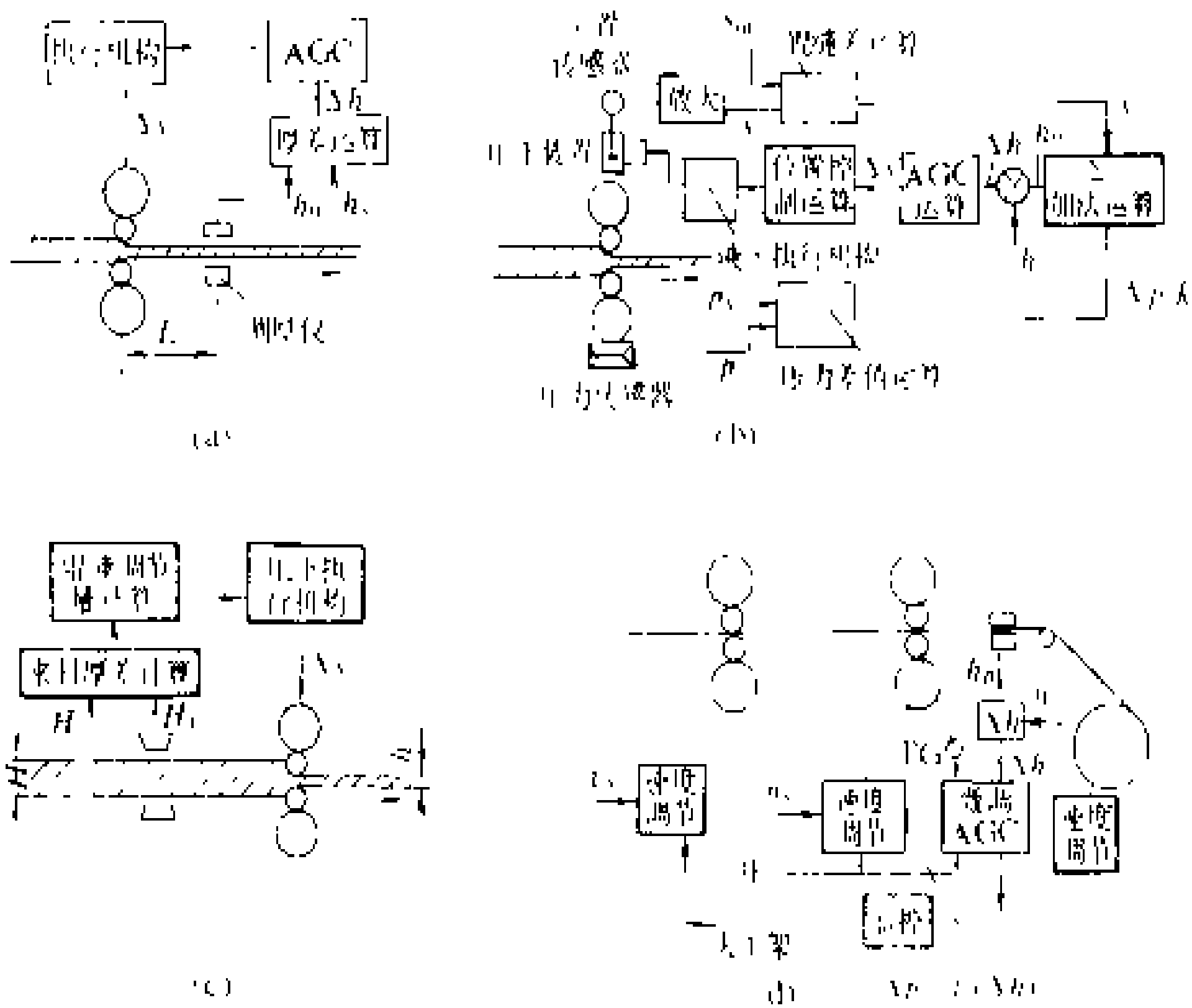


图2 AGC系统示意框图

(1) 反馈式。如图2(a)所示,用装在 (a) 反馈式; (b) 厚度计式(GM); (c) 前馈式; (d) 张力AGC



测得的辊缝值不准确,影响 h_0 的计算精度,一般需用出口侧的测厚仪信号来不断校正。

(3) 前馈式。如图2(c)所示。来料厚度波动较大时,严重影响成品厚度精度。为此利用设在机架前的测厚仪(或以前一机架作为厚度计)测出来料厚度 H_0 ,若它与原先给定的厚度值 H_s 有偏差 ΔH ,则用此偏差信息提前调整压下,以获得所要求的轧出厚度。前馈AGC实质是预控AGC,属于开环控制系统,其控制效果不能单独评价,一般需将前馈AGC与反馈式厚度控制系统结合使用。

(4) 张力AGC。如图2(d)所示,通过改变机架前后张力值来控制厚度。与压下AGC相比,张力AGC具有惯性小,反应快、易于稳定等特点。由于带材在轧制中材质硬化,所以一般在冷连轧机头两个机架上采用压下AGC。那时轧件塑性变形有效,可以消除90%~95%的厚差,剩余的厚差可以在成品架上用张力AGC消除。一般通过控制卷取机和最后两个机架的速度来微调前后张力,以最终完成AGC的目标。

计算机综合控制系统 最早采用计算机只是进行数据处理,即对轧制过程中的工艺参数和工作状态进行周期地检测、记录、监视和提供报表,以供技术人员操作和分析用。随后发展到用计算机对各机架的负荷进行分配,预先设定辊缝、轧制力、速度、张力等参数,并从离线控制发展到在线控制,从开环控制发展到闭环控制,实现了计算机对生产过程的综合控制。随着微型机和高级微机可编程序控制器(PC)的出现,由集中的直接数字控制(DDC)向分散的局部专用计算机系统发展(如厚度自动控制、自动板形控制等),从而简化了编程和维护,提高了灵活性和可靠性,局部的故障不致影响全局,降低了成本。到70年代又逐步发展了自适应控制技术,即根据来料的原始数据和对轧制成品的要求,通过数学模型设定轧制参数,并随时采集轧制中有关信息,修正设定值,使其进一步符合实际工况,达到最佳控制。冷连轧机计算机体系常用多级分布式,一般分为基础自动化级、过程自动化级和生产管理级三级。

(1) 基础自动化级。采用PC机或DDC专用控制机。主要功能为进口钢卷运输、上料对中对高、喂料、穿带自动顺序控制;主令速度设定;轧机压下、轧制力、速度、张力的调节;厚度和板型的自动控制;辅助设备(如导卫装置、焊机、活套车、飞剪等)的自动控制;自动减速、甩尾或带尾位置控制;快速换辊;出口钢卷处理;称重;防跑偏;润滑和液压系统自动化等。

(2) 过程自动化级。采用微型机或小型机。主要功能为原始数据输入;轧制规范最佳选择及预设定;数学模型及模型自适应自学习控制;轧制程序计算、运行

和动态控制;带材动态变规格控制;输出主令速度、厚度和板型调节、自动减速等的设定值和控制参数;材料跟踪;测量值收集与处理;操作与故障记录监视。

(3) 生产管理级。采用超级小型机,其主要功能为接收上级系统的生产合同数据,检查和修改生产顺序;向现场管理终端或过程计算机输出指令;实时收集、存贮、分析、处理轧制信息、设备运行状况、产品数据和检验报告;轧辊及仓库管理;生产调度;输出生产报表;输出产品出厂标牌;向上级系统返回实际生产管理信息。

冷连轧机的计算机系统可以仅作为全公司中央计算机系统的子系统运行。

简史 20世纪30年代即采用列奥那尔德(电动机-直流发电机)机组向冷连轧主传动直流电动机供电,1938年首次在轧机上应用了汞弧整流器,到50年代得到较广泛地应用,60年代以后又逐渐被晶闸管及半导体整流器所代替。为了满足带钢厚度精度的要求,1955年美国首次采用厚度自动控制系统(AGC),1968年日本在冷连轧机上开发了液压压下控制。虽然早在1971年联邦德国就开始在五机架冷连轧机上应用板形检测技术,但直到80年代中期,一种利用轧制热影响和轧辊弯曲技术、使用高水平检测装置的自动板形控制技术才获得了实际应用。1959年美国第一次在一套四机架冷连轧机上用电子数字计算机进行数据处理,随后在1967年美国和日本先后将计算机用于冷连轧的控制。随着微电子技术、计算机软件技术和现代控制理论的发展,1987年全数字控制的交流变频调速技术首次进入了被直流自动电力拖动垄断了半个多世纪的冷连轧电控领域。

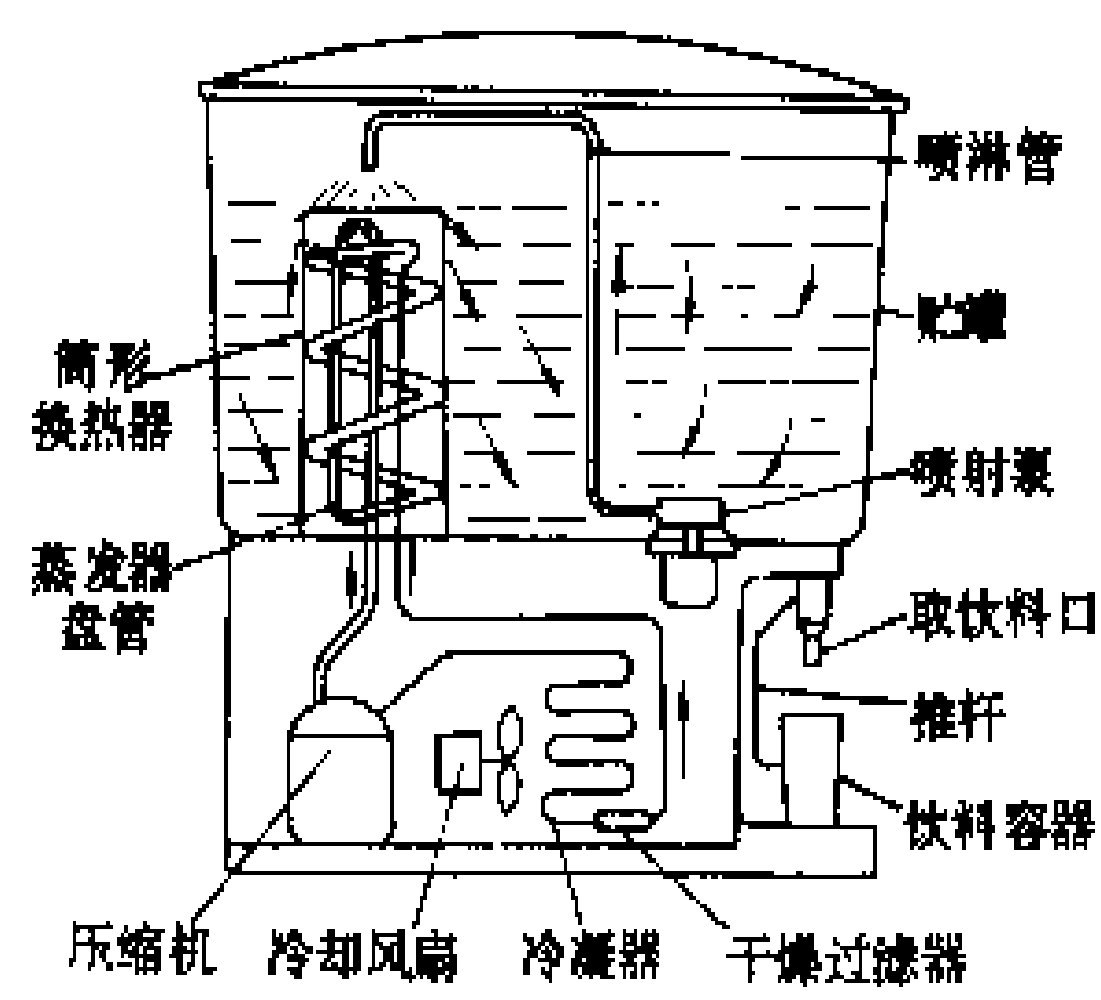
(文执中)

lengyingji

冷饮机 (cold drink maker) 一种带有制冷系统、以电为动力制作冷饮的制冷器具(见家用电器)。冷饮机采用单级压缩制冷系统。压缩机对充入制冷系统内的制冷剂氟里昂作功,氟里昂在流动过程中发生相变(气态、液态相互转变),使蒸发器内的液态制冷剂蒸发,吸收饮料的热量;在冷凝器内气态制冷剂被外界空气(或水)冷却而液化,放出热量,如此不断循环,使饮料降温。

喷射式冷饮机是冷饮机的代表机型(见图),其体积小,使用方便,适用于家庭、冷饮店、餐厅、公共场所制作冷饮用。喷射式冷饮机由贮罐、喷射泵组件、制冷系统和温度控制器等组成。喷射泵自贮罐底部吸入饮料,沿喷淋管送至贮罐上部,喷洒在筒形换热器顶而上,对饮料进行冷却。当饮料温度降到设定温度时,温

度控制器断开电路，冷饮机停止工作。



喷射式冷饮机结构示意图

喷射式冷饮机的容量一般为 15~50 L，饮料冷却温度 1~7℃，压缩机输出功率 100~250 W，使用 220 V 交流电源。

(张友良)

lizi daoti

离子导体 (ionic conductor) 以正、负离子传导电流的物体，又称第二类导体。如电解质溶液，此类导体在传导电流的同时，伴有化学物质的传递，其导电过程是：将电解质中的两个电极接通电源时，电解质中的阴离子移向阳极并将多余的电子传递给阳极；阳离子移向阴极，从阴极上获得所缺少的电子，变成中性原子，在阴极析出，从而完成了整个导电过程。当温度升高时，电解质的流动性增加，减少了离子的运动阻力，因而提高了离子的运动速度，导电能力增加。

(马荫华)

liju diandongji

力矩电动机 (torque motor) 在低速、堵转状态下都能长期连续工作，直接驱动负载，以输出转矩为主要特征的伺服电动机。力矩电动机有交、直流两大类。

直流力矩电动机 采用直流电动机结构的力矩电动机。工作原理与直流伺服电动机相同。为了在低转速时能产生大的输出转矩、一般电枢绕组做成扁平结构的盘式，电枢长度与其直径之比为 0.2 左右，定子做成多极永磁式。为了减小转矩和转速的脉动，电枢选用较多的槽数、串联导体数和换向片数。为了使电机工作稳定，电机的输出转矩不得超过最大堵转转矩，亦称峰值转矩。与其相应的电枢电流称为峰值堵转电流。如果电枢电流超过峰值堵转电流，磁钢会去磁，电机需要重新充磁才能正常工作。直流力矩电动机反应速度快，转矩和转速波动小，能在很低转速下稳定工作，机械特性和调节特性线性度好，具有高耦合刚度，特别适合在位置

控制系统和宽调速控制系统中作为执行元件。

直流力矩电动机的总体结构型式有分装式和组装式两种。分装式结构包括定子、电枢和刷架三大部件，机壳和转轴由用户根据安装方式自行选配；组装式则和一般电机相同，机壳和转轴由制造厂装配成整机。图 1 是直流力矩电动机的结构示意图。

为了克服直
流力矩电动机采
用电刷和换向器
带来的弊端，近
年来发展了无刷
直流力矩电动
机，其原理、结构
与无刷直流电动
机相同。这种电

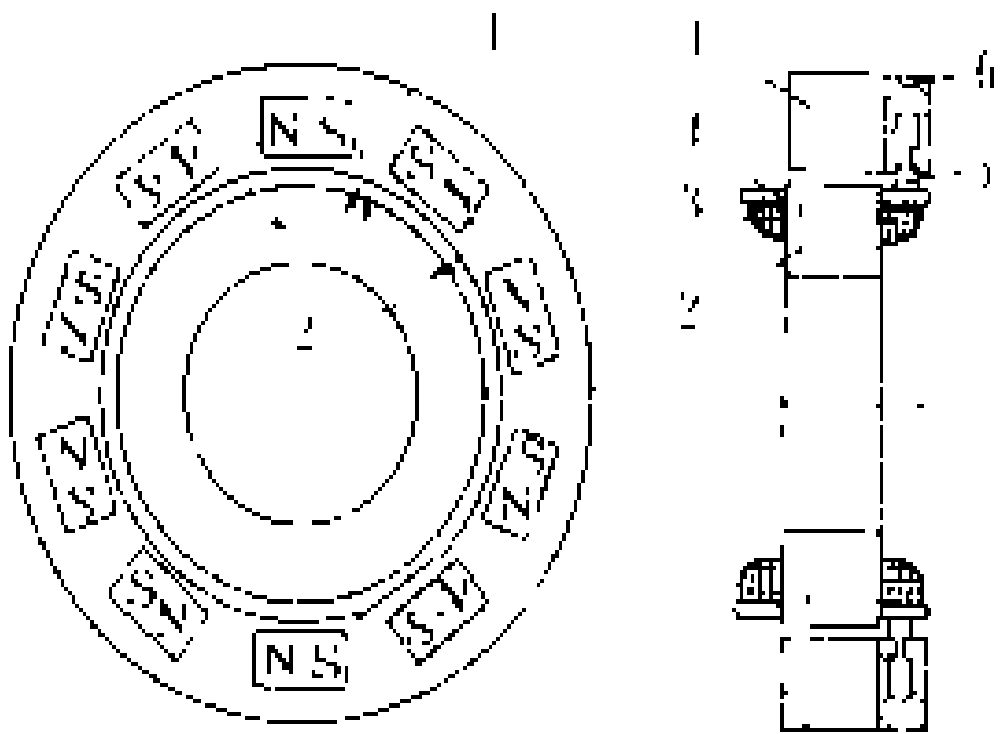


图 1 直流力矩电动机结构示意图

动机既具有普通 1—定子；2—电枢铁芯；3—电枢绕组；
永磁直流电动机 4—槽楔兼做换向片；5—电刷；6—刷架
同样的机械特性、良好的调速性能以及因采用永磁体励磁而无励磁损耗的优点；又具有无刷直流电动机没有换向火花、没有无线电干扰、寿命长、运行可靠、维修简便和噪声低的优点；还具有一般力矩电动机不通过减速器直接驱动负载，并可工作于低速和堵转状态的特点。因此，这种电动机广泛应用于空间宇航技术、位置和速度控制系统、磁记录仪、录像机、电影摄影机以及一些特殊环境的装置中。

交流力矩电动机 采用异步电机结构的力矩电动机。其工作原理与交流伺服电动机相同。为了获得低转速大转矩，交流力矩电动机电枢绕组也做成扁平结构的盘式，极数较多。为使电动机具有宽广的调速范围和较软的机械特性，可通过增加转子电阻来实现，笼型转子的导条通常用电阻率较高的黄铜制成，或者用钢制成实心转子。由于交流力矩电动机的阻抗较大，其堵转电流较小，又由于采用强迫通风，可短期或长期运行在堵转状态。交流力矩电动机的调速用改变端电压的方法，通过速度负反馈的自动控制系统来实现。

交流力矩电动机广泛应用于造纸、电线电缆、纺织、电影胶片冲洗等卷绕、导辊装置中。按其用途和相应的机械特性，交流力矩电动机又可分为具有近似卷绕特性（恒功率）和具有近似导辊特性（恒转矩）两类。它们的机械特性分别如图 2 (a)、(b) 中的曲线 1 所示。当需要将产品卷绕在辊筒上时，若为恒张力、恒线速传动，即 $Tv=P$ (功率) 为常数时，其卷绕特性呈双曲线形状，如图 2 (a) 的曲线 2。在卷径比（设开始
时卷筒直径为 D_1 ，以后变为 D_2 ，则卷径比 $= \frac{D_2}{D_1}$ ）为

1~2 的范围内,电动机的机械特性和卷绕特性曲线接近,如图 2(a)所示。当需要电动机传送产品,称为导辊传动。这时要求张力 T 为恒定,由于导辊直径 D 始终不变,所以 $TD=M(\text{转矩})=\text{常数}$,即导辊特性为水平线,如图 2(b)的曲线 2 所示。具有近似导辊特性的交流力矩电动机,其机械特性恰在一较宽的转速范围内接近负载的导辊特性,如图 2(b)所示,与卷绕特性力矩电动机相比,这种电动机的转子阻抗较低。

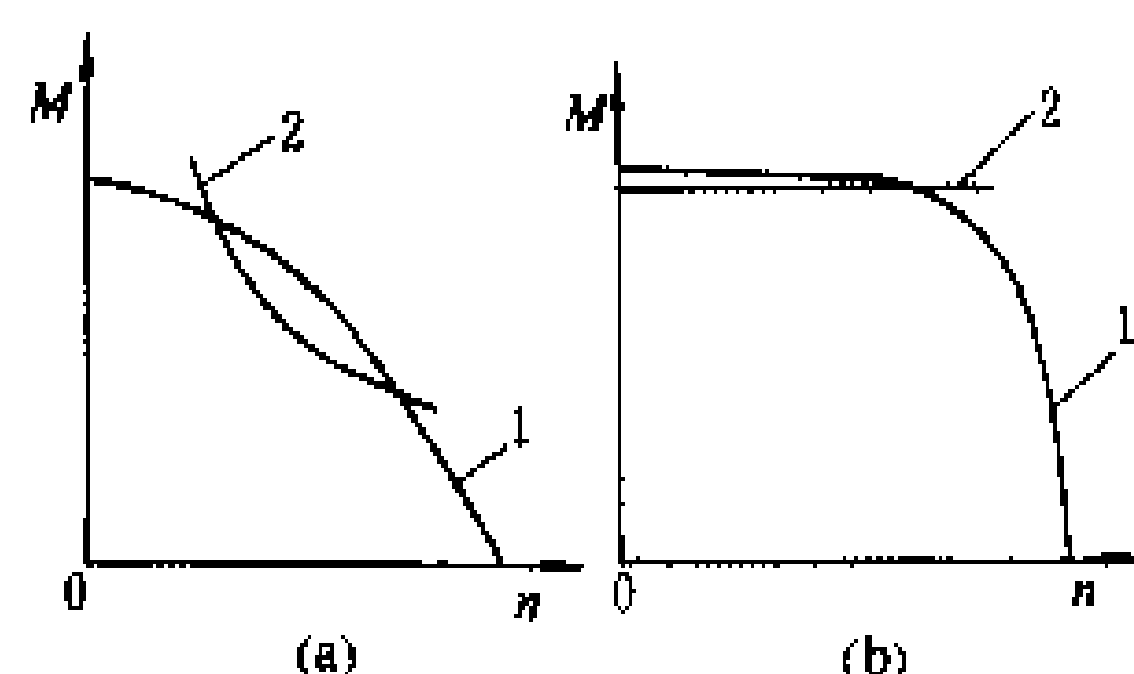


图 2 交流力矩电动机的机械特性和负载特性
(a) 卷绕特性交流力矩电动机; (b) 导辊特性交流力矩电动机

1—电动机机械特性; 2—电动机负载特性

(金啟政)

litisheng fangyin xitong

立体声放音系统 (stereophonic reproduction system)

由音频信号源、放大器和扬声器组合而成的高保真立体声放音系统。居民家庭中常用的组合音响也是一种立体声放音系统。

人的双耳具有分辨声源方向和距离的能力。因此,采用立体声放音系统放音能再现具有临场感的整个声源(如乐队)的声像,提高放音信息的清晰度、可懂度,从而明显增强节目的感染力。

立体声放音系统由音频信号源、放大器和扬声器三部分组成。

音频信号源包括立体声传声器、立体声电唱机、激光数字唱机、立体声调谐器、立体声磁带录音机等。

应用最广的立体声放音系统是双声道系统。其信号取自双声道立体声信号源。左、右两个声道的分离信号经独立的两个(组)放大器放大后,送入两个(组)扬声器中放音。为了保证放音效果,要求两个声道的信号在放音设备中尽可能保持一致的电性能和声性能,两个(组)扬声器在放音室的位置也要尽可能保持声学对称。

四声道立体声放音系统有四个声道,主要有分离式与矩阵式两类。前者的四个声道从记录、传输到重放均为独立的、分离的;后者则是把分离的四个声道的信号编为双声道矩阵信号进行记录,再利用双声道放音

设备进行处理,恢复为四声道立体声放音。此种方式能实现与双声道立体声系统的兼容。

四声道立体声放音系统要用四个(组)独立的扬声器放音。通常,四个(组)扬声器分别放在听众的左前、右前、左后、右后四个位置上,以提供良好的环绕立体声。此立体声虽包含明显的方位信息,但只能在平面上展开。更为完善的四声道立体声放音系统可重放出空间环绕立体声,使空间声源由水平面扩展到垂直面上。这时,四个(组)扬声器一般放在听众的左前上、右后上、左后下、右前下四个位置上,使听众获得满意的立体声包围感,再现出自然空间的三维立体声信息。

(潘宗福)

liangang dianhulu

炼钢电弧炉 (steelmaking arc furnace)

炼钢用电弧炉,是当代主要炼钢生产设备之一。它以废钢或以海绵铁为主要原料,利用电弧加热进行熔化后,加入渣料、合金料等,配以各种工艺措施,最后冶炼成质量符合要求的钢液。与氧气转炉、平炉(已被逐渐淘汰)相比,电弧炉炼钢的熔炼温度和合金成分容易精确控制,适合于熔炼许多种合金钢。另外,电弧炉炼钢可以全部用废钢作原料,而转炉最多只能用约 30%。电弧炉炼钢厂的建设投资比产量相当的配用高炉和转炉的炼钢厂的建设投资要小得多。因此,虽然电弧炉炼钢要消耗大量电力,但在电力和废钢供应充沛的国家和地区,用电弧炉熔炼普通钢,在经济上也是合算的。据 1987 年资料,世界电炉钢产量占当年总钢产量的 26.5%,中国 20.4%,苏联 15.9%,美国 37.7%,日本 29.8%,意大利和挪威等超过 50%,丹麦和新西兰等国则达 100%。

炼钢电弧炉也用来精炼中碳、低碳和微碳铁合金。

炼钢电弧炉主要有三相交流炼钢电弧炉和直流炼钢电弧炉两种。后者在 20 世纪 80 年代才得到工业应用。

三相交流炼钢电弧炉 历史最久、使用面最广的炼钢电弧炉,采用三相交流供电。

设备简况 成套设备由炉体、主电路系统、控制系统等部分组成。

(1) 炉体。如图 1 所示,由炉壳、炉盖、炉座、石墨电极、电极夹头、炉盖提升旋开装置等部分组成。炉壳底部有用耐火材料构筑成的炉衬,炼钢时钢液在其中形成熔池。炉盖由外圈和耐火材料盖拱构成。拱顶中有供电极通过的电极圈。炉壳内侧和炉盖拱,通常用耐火材料砌筑成隔热层,但随着电弧炉功率的增大,以循环水冷却的全金属结构,即所谓水冷炉壳和水冷炉

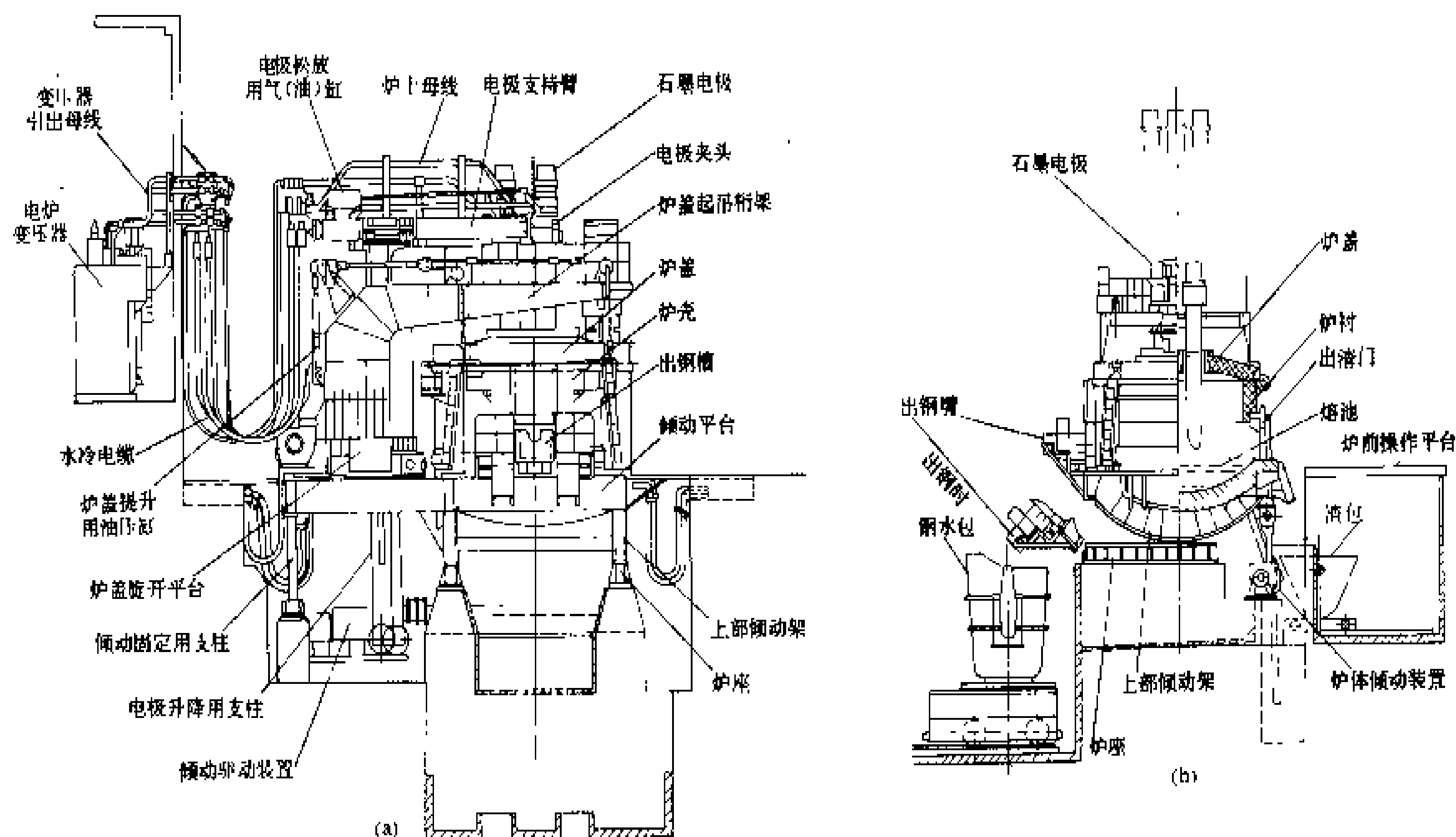


图 1 三相交流炼钢电弧炉结构示意图
(a) 正视图；(b) 侧视图

盖已得到推广应用。三根石墨电极（见电弧炉电极）对称地布置在一个与炉壳同心的圆周上。电极由电极夹头夹持并固定在电极臂上，工作时由电弧炉电极自动调节器调节其升降。现代电弧炉都从炉顶装料。装料时炉盖提升并旋开，用装料筐把料装入炉内。出钢时，炉身可借摇架式炉座向出钢槽一侧倾转一定角度（ $15^{\circ} \sim 45^{\circ}$ ）；出渣时则向另一侧倾转。近年来在炉底开口出钢的结构得到发展。炉体的驱动机构有倾炉、电极升降、炉盖启闭、电极夹紧等几种，采用电力或液压驱动，在控制室集中操作。炉体各部分受热构件，如炉门框、炉盖圈、电极圈等都用水冷却。

(2) 主电路系统。主电路如图 2 所示。炉子通常由 6~110 kV 中、高压配电网供电，通过隔离开关、高压断路器、电抗器（只用于容量 15 t 以下的小型电弧炉）、电弧炉变压器（见电炉变压器）、大电流线路（见短网），通过电弧连接到炉料，以炉料为三相电路的中性点。

电弧炉工作时，特别在熔化期，电流变化剧烈，时有短路、断路情况发生，主电路中的各种电器都要能适应这种用电特征。电极自动调节器要能迅速反应及时升降电极，使电弧电流保持稳定。

(3) 控制系统。主要有电弧炉电极自动调节器、传动控制系统、冷却水温度、压力监测系统等。某些较先进的炼钢电弧炉配备有计算机过程控制系统，这种系

统除了用于单台电弧炉外，还发展成对整个炼钢车间的电弧炉作业进行综合控制。

其功能包括：装入料的配料计算和装料控制；各熔炼阶段的输入功率控制；在精炼过程中根据取样分析结果，计算和控制渣料和合金成分的加入量；在供电网供电能力范围内，对多台电弧炉的电力供应作最佳分配等。由于设备费用高，综合控制一般只用于大中型电弧炉炼钢车间。

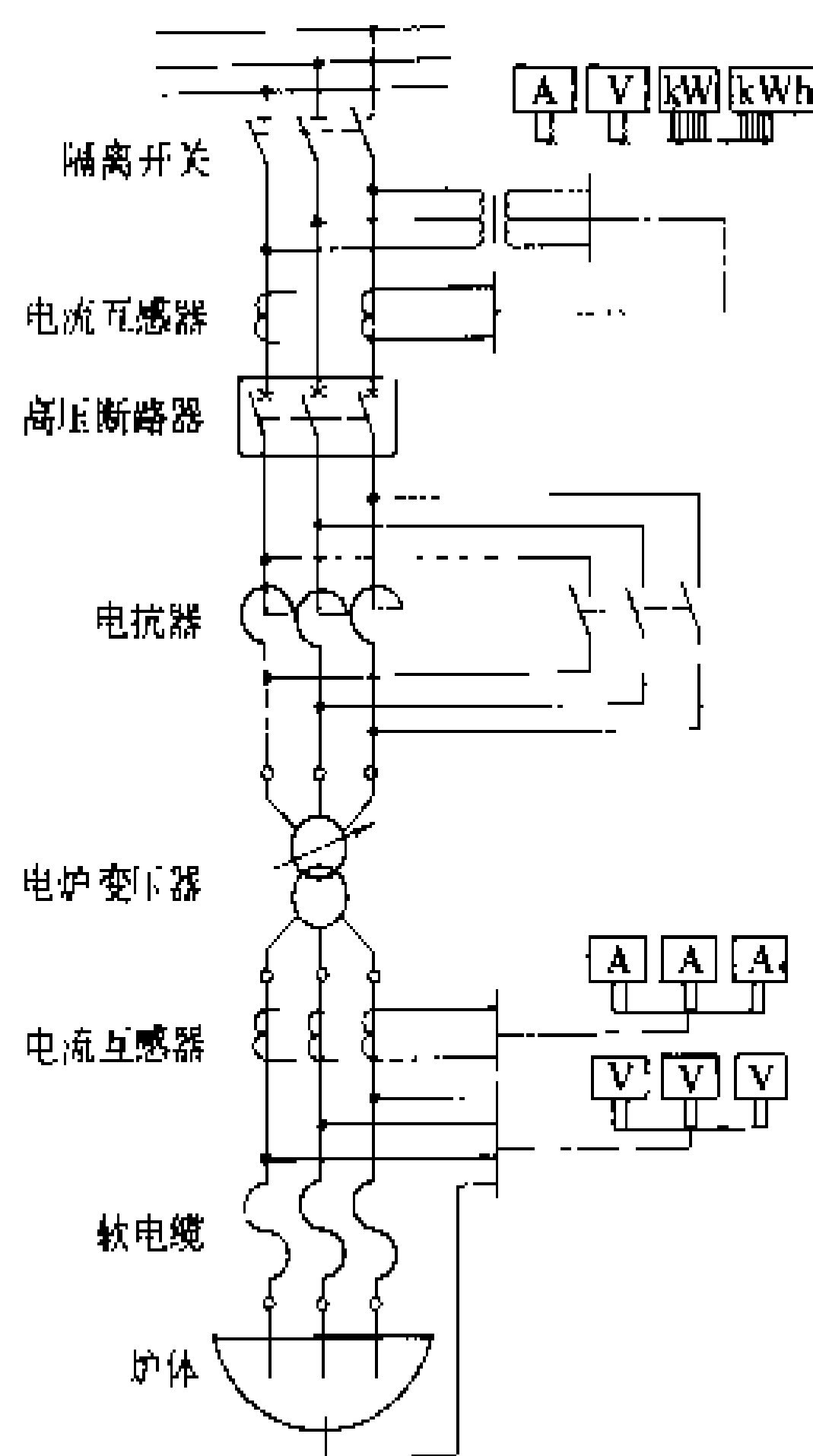


图 2 三相交流炼钢电弧炉的主电路

主要参数 三相炼钢电弧炉的主要参数可见下表。

表中变压器额定容量“1类”相当于普通功率



三相炼钢电弧炉主要参数

额定容量 最大容量 (t)	炉壳 内径 (m)	变压器额定容量(MV·A)			石墨电极 直 径 (mm)
		1 类	2 类	3 类	
0.6/1.0	1.6	0.63			(150),100
1.5/2.5	2.1	1.25			(200),150
3/5	2.5	2			(250),200
6/10	3.0	3.15			(300),250
12/15	3.5	5 或 6.3			300,350
15/20	3.7	6.3	10	12.5	(400),350
20/25	4.0	8	12.5	16	400,350
25/30	4.3	10	12.5	16 或 20	(450),400
30/40	4.6	12.5	16	20 或 25	(450),400
40/50	5.0	16	20	25 或 31.5	500,450
50/60	5.2	20 或 16	25	31.5 或 40	500,450
60/75	5.5	20	25	40	500,450
80/110	6.1	25	31.5	40 或 50	550,500
100/125	6.4		40	50 或 63	550,500
125/160	6.8			63	(600),550
160/200	7.4			80	600

注：石墨电极的直径可根据其允许电流负荷在两者中选择，但括号内值不推荐。

(RP)，“2 类”相当于高功率 (HP)，“3 类”相当于超高功率 (UHP)。同一吨位的电弧炉当输入较高功率时熔化率也高，熔化电耗较低。对电弧炉只用于熔化钢，而钢液精炼在炉外进行或炉内精炼时间很短的炼钢操作工艺来说，电弧炉配用高功率和超高功率熔化是比较经济的，但如果用电弧炉熔炼合金钢，则因炉料熔化后有相当长的精炼期，这时所需的功率较小，高功率和超高功率的电源设备不能充分发挥作用，因此总的能耗不能降低。

电特性 用来表示在工作电压下，电弧炉的功率、功率因数、电效率等与电弧电流之间的关系。三相电弧炉电路在简化的条件下(即假设变压器一次电压、线路电阻和电抗值不随电流而变，电压和电流为正弦波，变压器空载电流为零，三相完全平衡)，其等效电路为一个由线路相电阻 R ，线路相电抗 X 、电弧电阻 R_a 三者串联的单相电路。供电电压为变压器二次相电压 U (各电参数都折算到变压器的二次侧)。在这个电路中 R 、 X 和 U 都可看作是常量，而 R_a 是电弧电流 I 的函数， $R_a = [\sqrt{U^2 - (IX)^2} / I] - R$ 。因此可以从这个等效电路推导出功率(包括视在功率、无功功率、有功功率、线路损失功率、电弧功率)、功率因数、电弧电压、电效率等与电流的函数关系，并就某一组 U 、 R 、 X 的值计算和绘制一组曲线。这就是交流电弧炉的电特性曲线，见图 3。从图上可以看出，输入的有功功率和电弧功率分别有其最大值。有功功率的最大值出现在当线路功

率因数等于 $1/\sqrt{2}$ 时，电弧功率的最大值出现在功率因数等于 $\cos \frac{1}{2} \left(\arctg \frac{x}{12} \right)$ ，即 $R_a = \sqrt{R^2 + X^2}$ 时。

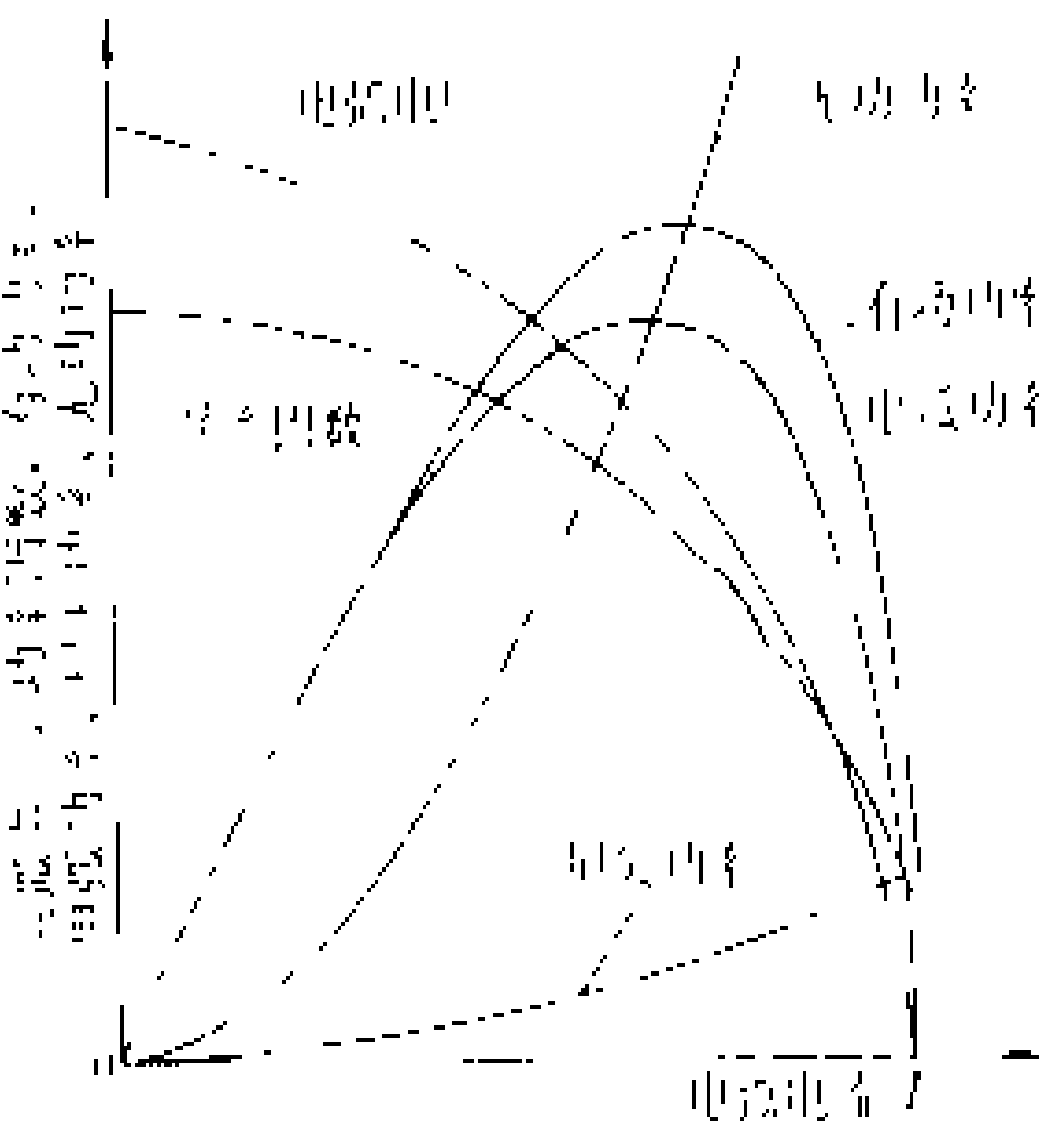


图 3 三相交流炼钢电弧炉电特性

电特性可用来选择电弧炉的工作电流区。通常按功率因数值选择，其范围约为 0.65~0.85。小型的及普通功率电弧炉，功率因数选在 0.75~0.85 范围内；高功率和超高功率电弧炉约 0.65~0.75。实际运行中，由于线路中电流有谐波分量，线路电抗会增大约 10%~15%，电特性应作相应修正。

操作 当电弧炉用于熔炼合金钢时，其操作程序是：装料、熔化、精炼、出钢、补炉，然后进行第二炉的作业。两炉次之间的时间称为一个熔炼周期，约 2~4 h。冶炼每吨钢的电耗随输入功率、原料状况、炉容量、冶炼钢种以及工人操作水平等因数有关，约 500~700 kW·h/t。冶炼周期中，熔化期和精炼期内需供应电力。熔化期内要输入变压器最大容许功率，有时还进行吹氧或用燃料加热以加速炉料熔化。熔化时间取决于输入功率、装料状况、电极调节器的性能以及供电网电压波动程度等因素。精炼时间取决于钢液的化学成分和温度等。在精炼期中输入功率比熔化期小，供电系统轻载运行。为了充分利用供电设备的装备容量，在现代化炼钢企业中已愈来愈倾向于把电弧炉与炉外精炼设备配合使用，即电弧炉只作为初炼炉，主要用来熔化废钢，而把精炼作业移到炉外精炼设备中进行。这时，熔化时间只约 1~2 h，熔化电耗可降低到 400~500 kW·h/t，总的炼钢成本可降低(见钢包精炼炉)。

对环境的污染和危害及其防治 炼钢电弧炉会对环境造成较大的污染和危害，主要是烟尘、噪声和对供电网的干扰。

(1) 烟尘。由炉料本身的冶金反应，以及炉料、空气、氧(当吹氧助熔时)、燃料(当用燃料助燃时)相互间的化学反应生成。每炼一吨钢产生约 400~800 N·m³ 烟气，熔化期量大，精炼期量小，通常用排烟设施加以排除。排烟方式有：①在炉顶上放设排烟罩；②

通过炉盖或炉壁上所设排烟孔直接从炉内排烟；③把电弧炉炉体设置在可移动的排烟罩内排烟；④炉内排烟与厂房屋顶排烟结合等许多种。排出的烟尘用布袋或静电除尘装置除尘。烟气中的一氧化碳，可用于预热炉料或烘烤钢包，以回收部分热能。

(2) 噪声。由电弧产生，大功率电弧发生的噪声在作业区附近可达 120 dB 以上。避免噪声危害的措施有，把电弧炉操作室设置在隔声室内，让操作工人戴头盔等。炼钢电弧炉不应设置在居民集中区。

(3) 对电网的干扰。由电弧炉的功率特别是无功功率的剧烈变化引起的，使配电网的电压产生闪变，影响接在同一配电网上的其他用电设备，特别是电子仪器、电子视听器件、照明用具等的正常使用。防治措施有：①公用电网的短路容量应足够大，以相对减小闪变的危害，如美国、德国、国际电热协会等为此分别作了规定或提出建议，一般要求，电网的短路容量要有电弧炉变压器容量的 80~100 倍；②在电弧炉变压器高压侧设置由电容器、电抗器、晶闸管开关元件等组成的静补偿装置；③改用直流炼钢电弧炉。

直流炼钢电弧炉 这种电弧炉的许多方面与三相交流炼钢电弧炉相同。主要不同点是：①用直流供电，直流电源由三相整流变压器与大功率整流器组成；②通常只用一根石墨电极，而在炉底设置构成电流回路的底电极（个别的也有用两根、甚至三根电极而不设底电极的结构）。根据近十多年的运行经验，直流电弧炉具有以下优点：①对配电网的干扰小，闪变值仅为三相交流电弧炉的 30%~50%；②噪声可减小 10~15 dB；③石墨电极的消耗可减少 50%~70%；④耐火材料消耗可减少 2~5 kg/t；⑤电耗可减少 10~40 kW·h；⑥具有明显的电磁搅拌效果；⑦除底电极部分外，炉体的其余部分和电极调节器比三相交流电弧炉简单；操作也较方便、安全；⑧可由现用交流电弧炉改造，原有的变压器、驱动系统、电极调节系统等，以及炉体的大部分都可利用。不利之处是：①电气设备价格较高；②底电极须精心设计制造，且是易损件，寿命约 800~2000 h。

历史与发展 1879 年德国 K. W. 西门子 (Karl Wilhelm Siemens) 制造了一台供实验用、利用间接电弧加热的直流炼钢电弧炉，用的是水冷金属电极并炼出了钢，但热效率低，耐火材料消耗大，未得到推广，1889~1890 年间法国 P. L. T. 埃鲁 (Paul Louis Toussaint Hérault) 制成了第一台可供实用的、利用直接电弧加热的电弧炉。炉膛呈矩形，用两根电极。限于电源的功率，当时这种电炉最大容量只到 6 t。但利用直接电弧加热从此成了炼钢电弧炉的设计基础。1911 年前后出现了三相交流炼钢电弧炉，炉壳改成圆形。这一改进和

炉子输入功率的增加提高了炉子的生产能力。第一次世界大战期间，德国已有容量 30 t 的炉子。随着容量的增大，装料方式也从由炉门入工装料、炉身推出顶装料等形成发展成现时通用的炉盖旋开式顶装料。机电配套设备不断改进，操作由手动改为半自动、半机械化。第二次世界大战后，随着世界钢产量的增加和炉外精炼技术，电渣重熔技术（见电渣重熔炉）等的发展，炼钢电弧炉所炼的钢种也由合金钢转向普通钢，炉子容量不断增大。1954 年美国 200 t 电炉投入运行。1964 年美国 W. E. 施瓦布 (Schwabe) 等提出高功率和超高功率概念，制成了两台 135 t 超高功率炉。经试用，取得了满意的结果。这是炼钢电弧炉发展史上的重大进步。1971 年美国 360 t 超高功率炉投入运行。这是迄今世界上容量最大的电弧炉。与大容量、高功率和超高功率电弧炉相适应，炉用石墨电极和耐火材料的质量、大电流线路（短网）的设计、炉子的机械传动和控制，炉壳和炉盖的冷却，以及熔炼工艺技术都有相应改进提高，如 1964 年吹氧助熔问世，1973 年日本试验成功水冷炉盖和水冷炉壁，1981 年德国试验成功无渣出钢工艺和电炉等。交流电弧炉对环境的危害因其容量和功率的增大而加剧，随着电力半导体器件的发展，在七八十年代中，直流炼钢电弧炉又重新登上历史舞台。1985 年德国为美国制造的第一台 35 t（变压器容量为 16.8 MV·A）工业用直流电弧炉投产。1986 年法国的一台 75 t 炉投产，同年 8 月在日本投产的 130 t 炉，该炉可年产钢 100 万 t。预期直流炼钢电弧炉在未来的岁月中会有大的发展。

中国于 50 年代开始生产三相交流电弧炉，先是 5t 以下小型炉，1966 年制成 30 t 盖旋开式顶装料炉，1976 年制成 75 t 炉，1985 年太原重型机器厂将一台 10 t 三相交流炉改成直流炉。1991 年 90 t 超高功率电弧炉在河南午阳钢厂投入运行。预计近年将发展 150 t 以下的超高功率三相交流炼钢电弧炉和直流炼钢电弧炉。

（佟 伟 胡叔良 蒋聪吉）

liangdu

亮度 (luminance) 表面上某一点的微面积在给定方向上的发光强度除以该微面积 dA 在垂直于给定方向的平面上的正投影面积之商，又称光亮度，以符号 L 表示（见图）。其表达式如下：

$$L = \frac{dI}{dA \cdot \cos\theta} \quad (1)$$

亮度的单位为坎德拉每平方米，cd/m²，旧称尼特 (nt)。亮度的其他单位尚有：①熙提 (sb)，1sb=10⁴ cd/m²；②阿熙提 (asb)，1asb=(1/π) cd/m²；③英

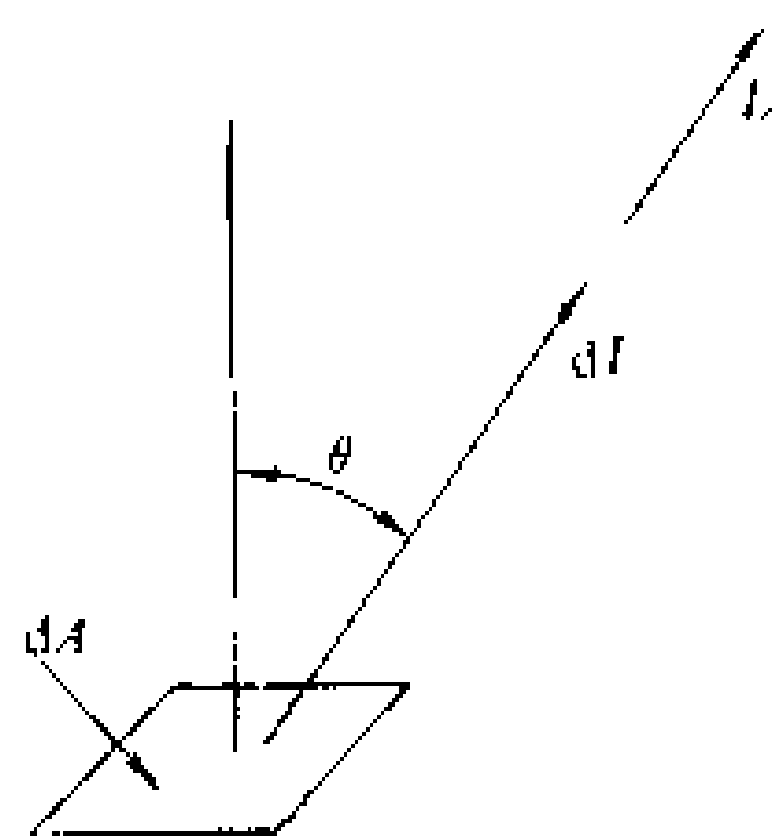
尺朗伯 (fL), $1\text{fL}=3.426\text{cd}/\text{m}^2$ 。

亮度与照度的关系 对于均匀漫反射或均匀漫透射材料,无论入射光方向如何,其表面各方向上的亮度都是均匀一致的。在这种情况下,表面亮度与照度有以下关系:

$$L=\rho \cdot E/\pi \tag{2}$$

$$L=\tau \cdot E/\pi \tag{3}$$

式中 L 为表面亮度, cd/m^2 ; ρ 为材料表面反射比,即反射的与入射的光通量之比; τ 为材料的透射比,即透过的与入射的光通量之比; E 为表面照度, lx ,对于透光材料是指入射光一侧表面上的照度。在照明工程中,常用式 (2) 近似地计算房间无



亮度概念

光泽表面的亮度。

亮度因数 (luminance factor) 在规定的照明观测条件下,给定方向上物体表面的亮度与同一照明条件下完全反射 ($\rho\approx 1$) 或完全透射 ($\tau\approx 1$) 的均匀漫射体亮度之比,符号为 β 。由这个定义可知,均匀漫射表面的亮度因数是一个常数,并且在各种照明条件下,在所有方向上都等于它的反射之比。具有一部分规则反射特性,一部分漫反射特性的混合反射表面的亮度因数只有在均匀亮度的环境中才是常数;在其他环境中,根据照明条件和反射特性, β 可能达到数值从 0 到接近无穷大。

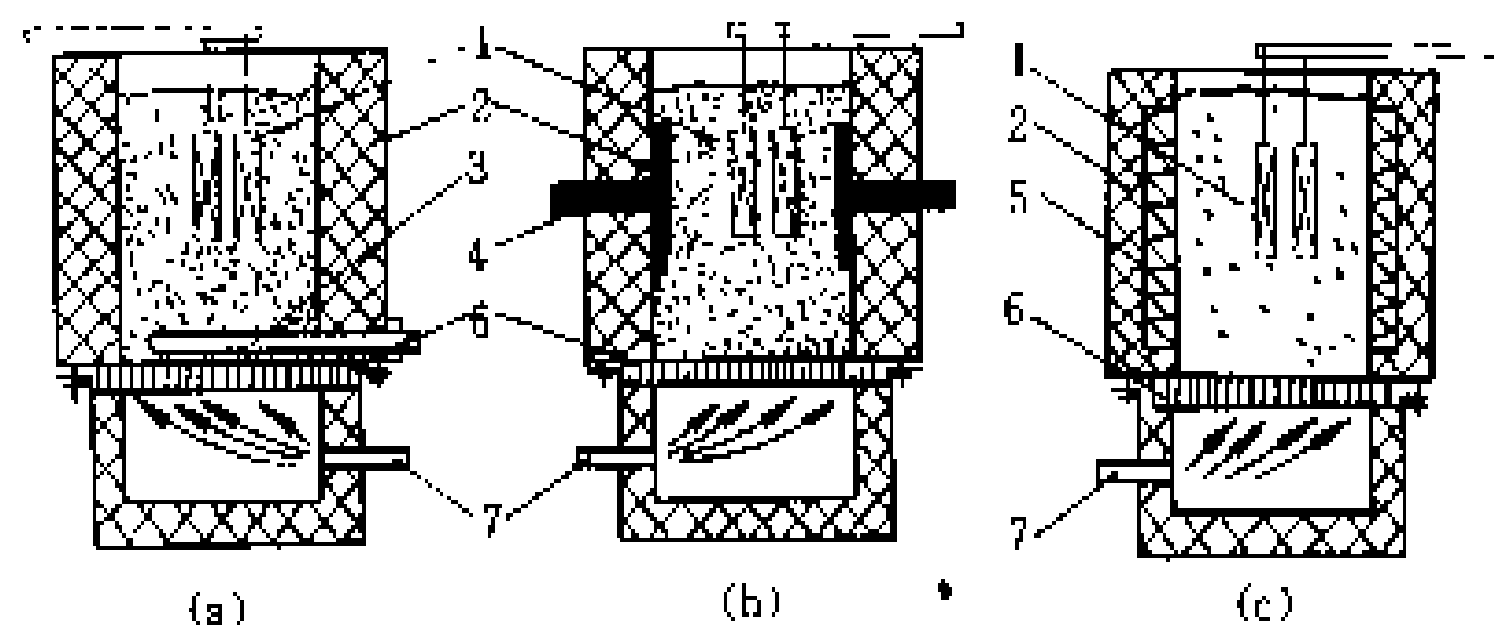
(唐庆旋)

liutai lizi dianlu

流态粒子电炉 (fluidized bed electric furnace) 物料浸没在流态化粒子介质中进行加热或冷却的电阻炉。如图所示,这种电炉的炉膛内装有作为传热介质的某种物质的固体粒子。粒子由电热元件从外部 [图 (a)] 或在内部 [图 (b)] 间接加热,或由电极在内部 [图 (c)] 直接通电加热。炉膛底部有具有微孔结构的布风板。由送气口送入的气体通过布风板驱使粒子处于流动状态,即使之流态化。工作时,粒子把热能传给浸没在粒子层中的物料使之加热。所用粒子有氧化铝、砂、碳化硅、硅铁合金、石墨等。炉子为图 (c) 结构时,必须用能导电的粒子,如石墨。粒子直径在 $0.3\sim 0.6\text{mm}$ 范围内,常粗细搭配。送入的气体可以是空气。要求在炉膛内形成控制气氛时(见控制气氛电阻炉),则另添加煤气、天然气或丙烷等。

与电热浴炉比,这种电炉的优点是:①冷炉升温

快;②物料热处理后表面清理方便;③使用安全,不会发生爆炸事故。缺点是:①物料加热速度较慢;②对粒子流态化的控制较困难,控制不当会产生气泡、飞溅、失流等现象,影响物料的均匀加热;③对 1000°C 以上高温炉,布风板不易做好,粒子的流态也更难控制。



流态粒子电炉示意图

(a) 由管状电热元件内部加热; (b) 由电极内部加热;
(c) 由电热元件外部加热

1—被处理的工件; 2—炉衬; 3—管状电热元件; 4—石墨电极; 5—电热元件; 6—布风板; 7—进气管

按工作温度,流态粒子电炉可分低温炉 (650°C 以下)、中温炉 ($650\sim 1000^\circ\text{C}$) 和高温炉 (1000°C 以上) 三类。现在工业中中温炉已用于金属工件和材料的淬火和退火加热,低温炉用于回火和缓冷等,高温炉虽已有约 20 年研究历史,但至今未推广应用。

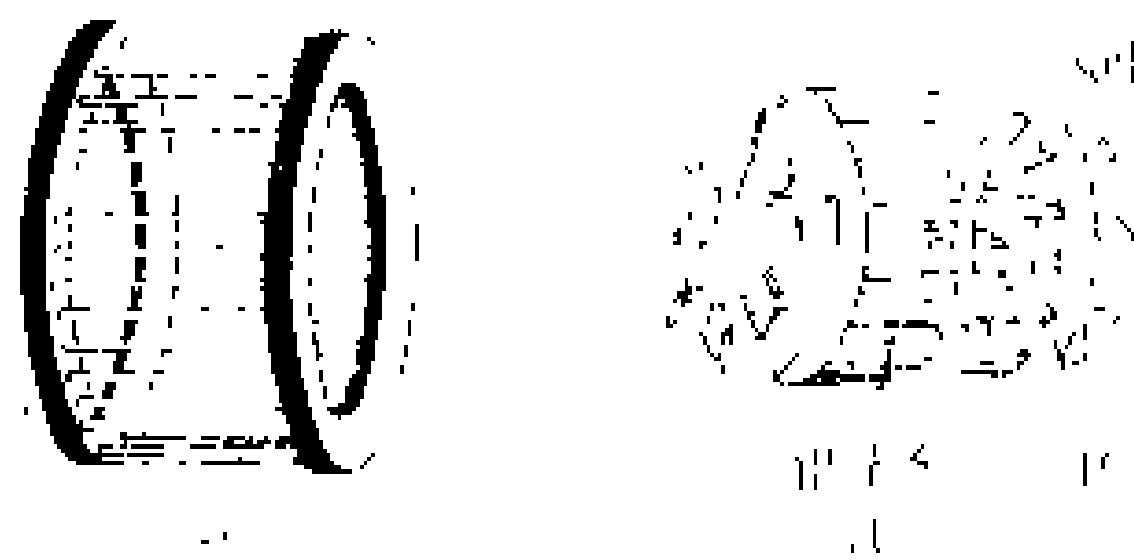
由燃料(天然气、煤气、柴油等)提供热能的流态粒子炉的情况与流态粒子电炉类似。在冶金工业中流态粒子炉已成功地用于钢管或钢丝的连续热处理。

(许坤田 蒋聪吉)

longxing ganying diandongji

笼型感应电动机 (cage induction motor ; squirrel cage induction motor) 二次绕组

(即电机运行时与外部电源不连接的绕组)为笼型绕组的感应电动机。笼型绕组为自行闭合的对称多相绕组,它由插入每个转子槽中的导体和两端的环形端环构成。如果去掉铁芯,剩下的绕组外形象个圆笼,因此称为“笼型绕组”,如图所示。大、中型电机常用铜条插入转子槽内,再在两端焊上铜端环,如图 (a) 所示;小型电机一般都用铸铝转子,转子导体和端环一次铸出,如图 (b) 所示。笼型感应电动机结构简单、制造方便、



笼型绕组

(a) 铜条笼型绕组; (b) 铸铝笼型绕组

经济耐用，所以应用极广。

笼型感应电动机只有在最初起动转矩 $M_s \geq 1.1 M_L$ (M_L 为起动时的负载转矩) 时才能正常起动。电动机起动时除考虑起动转矩外，还应考虑起动电流。普通笼型感应电动机的起动电流倍数 $I_s/I_N \approx 4 \sim 7$ ，起动转矩倍数 $M_s/M_N \approx 1 \sim 2$ 。这使得大容量电动机或要求重载起动的电动机往往不能直接起动。降低最初起动电流的方法有：①降低电源电压；②加大定子边电阻或电抗；③加大转子边电阻或电抗。加大最初起动转矩的方法只有适当加大转子电阻，但不能过分，否则最初起动转矩反而可能减小。

笼型感应电动机的转子槽形有单笼、双笼和深槽三种，相应称为单笼型感应电动机、双笼型感应电动机和深槽式感应电动机。一般多采用单笼型感应电动机，如要求具有较高最初起动转矩时，可选用双笼型和深槽式感应电动机，其特点是起动时转子电阻较大，使最初起动转矩增大和最初起动电流减小；正常运行时转子电阻自动变小，使转子铜耗降低。

(金放玫)

leudian dianliu dongzuo baohuai

漏电电流动作保护器 (residual current operated protective devices) 用来防止低压人身触电和漏电火灾事故的一种机械开关电器或组合电器，又称剩余电流动作保护器，简称漏电保护器、漏电开关。在规定的条件下，当漏电电流达到或超过规定值时，漏电电流动作保护器能自动断开电路。漏电电流动作保护器的主要技术参数是额定漏电动作电流 ($I_{\Delta N}$)。额定漏电动作电流指漏电保护器必须动作的漏电电流值。中国标准规定， $I_{\Delta N}$ 的最低值为 0.006 A，最高值为 20 A，其中电流值较大的用于间接接触保护，额定漏电动作电流不超过 30 mA 的漏电保护器，在其他保护措施失效时可作为直接接触的补充保护。

漏电电流动作保护器的功能是对用电设备可触及的金属件上持续出现危险电压的保护。例如，金属外壳已接地的电动机或其他电器设备，当设备内部绝缘损坏而漏电时，漏电电流经过外壳流入大地，在金属外壳与地之间产生电压降，若此电压超过危险电压时，当人或家畜立于地面并触及该金属外壳，会发生致命的电击危险。此时，漏电电流动作保护器自动断开了电源，防止事故的发生。中国规定的交流安全电压 (有效值) 为 42 V 及以下。而人体触电的安全电流值随通过人体的部位、路径与时间长短的不同而异，国际电工委员会 (IEC) 出版物 479 规定了成年人触电安全界限的曲线，见图 1。图中划分了五个区域。区域 1：表示在此区域内对人一般无副作用；区域 2：对人体一般没有生

理危险；区域 3：对人体一般不会引起心室纤维性颤动；区域 4：可能引起心室纤维性颤动 (死亡概率上升到 50%)；区域 5：引起心室纤维性颤动 (死亡概率大于 50%)。图 1 中虚线为高灵敏度漏电保护器应具备的特性。

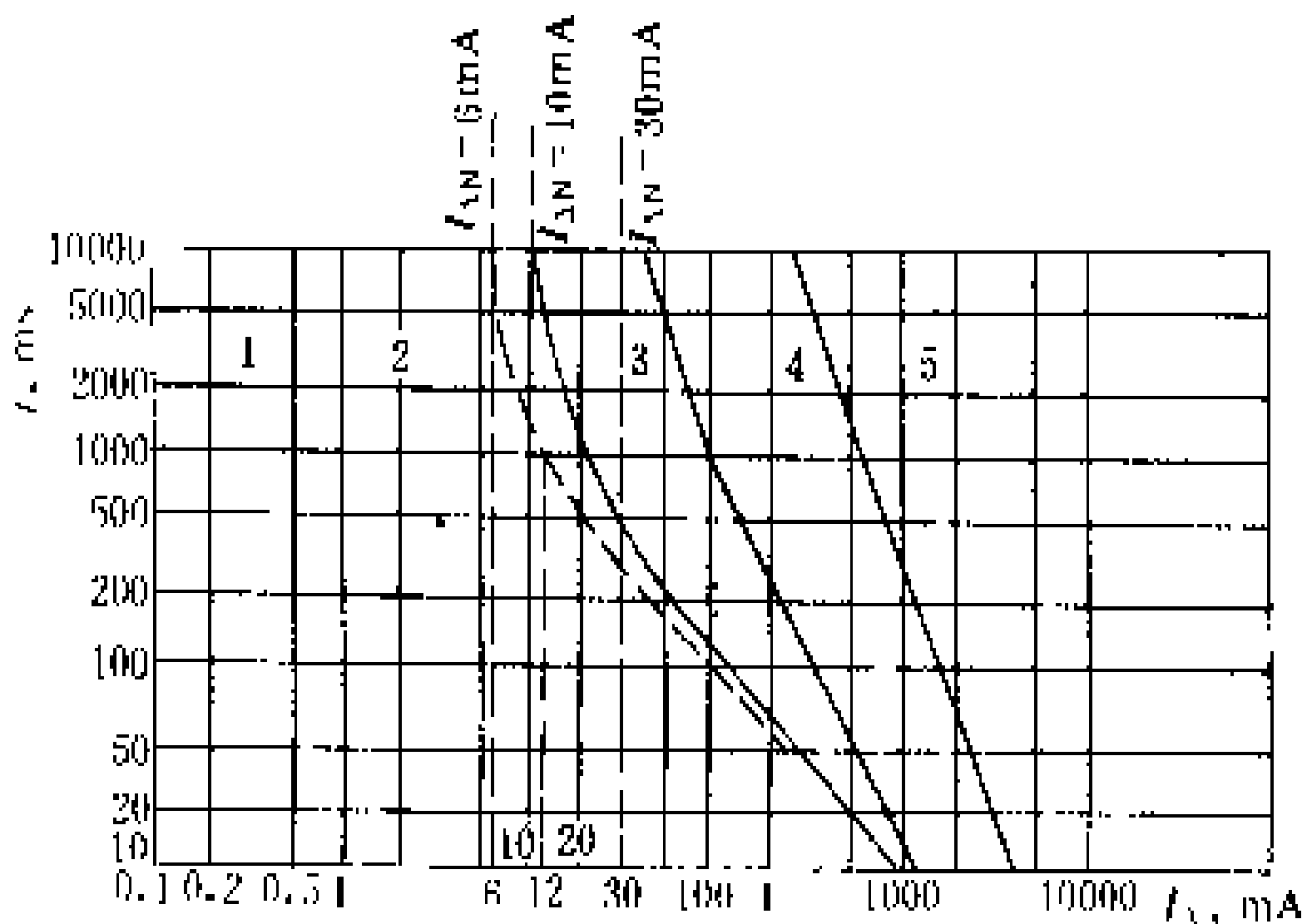


图 1 成年人触电安全界线曲线

工作原理 漏电电流动作保护器主要由零序电流互感器、放大环节、脱扣器和开关组成，见图 2。零序电流互感器是一种一次绕组通各相电流，二次绕组输出检测漏电信号的互感器。图 3 中所示的任一种电路，无论负载对称与否，只要对地无漏电，零序电流互感器一次绕组相量和始终为零，即

单相两线电路 [图 3(a)] $i_A + i_N = 0$

三相三线电路 [图 3(b)] $i_A + i_B + i_C = 0$

三相四线电路 [图 3(c)] $i_A + i_B + i_C + i_N = 0$

因此，各相电流在铁芯中所产生的磁通相互抵消，二次

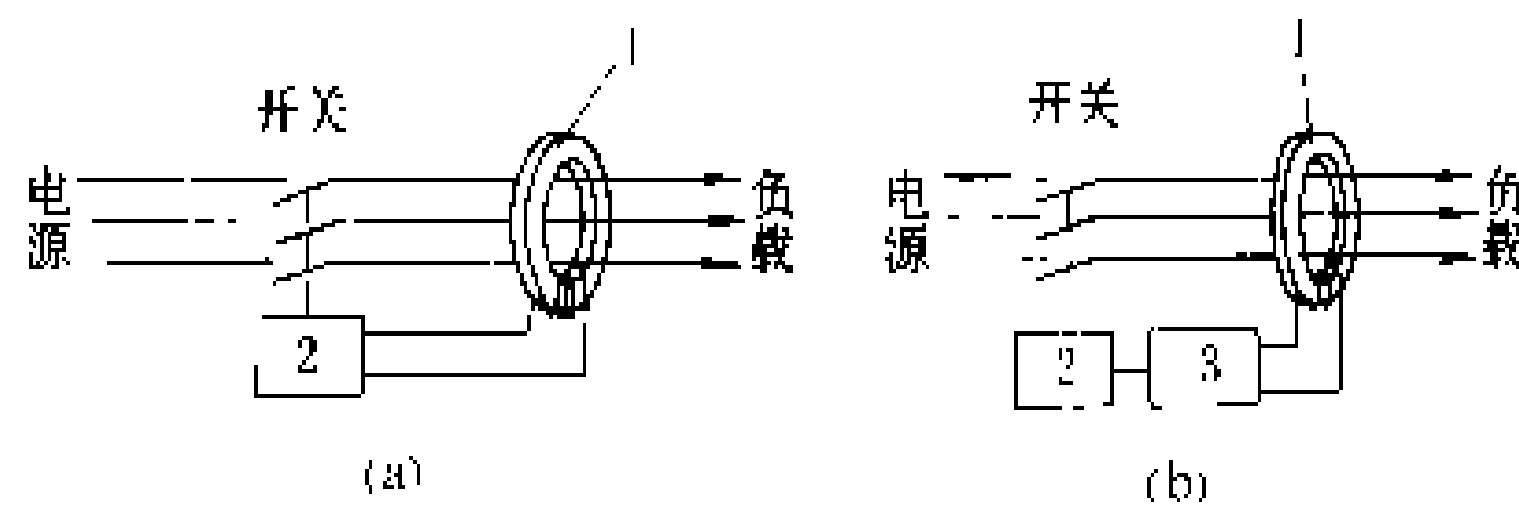


图 2 漏电电流动作保护器构成

(a) 不带放大环节；(b) 带放大环节

1—零序电流互感器；2—脱扣器；3—放大器

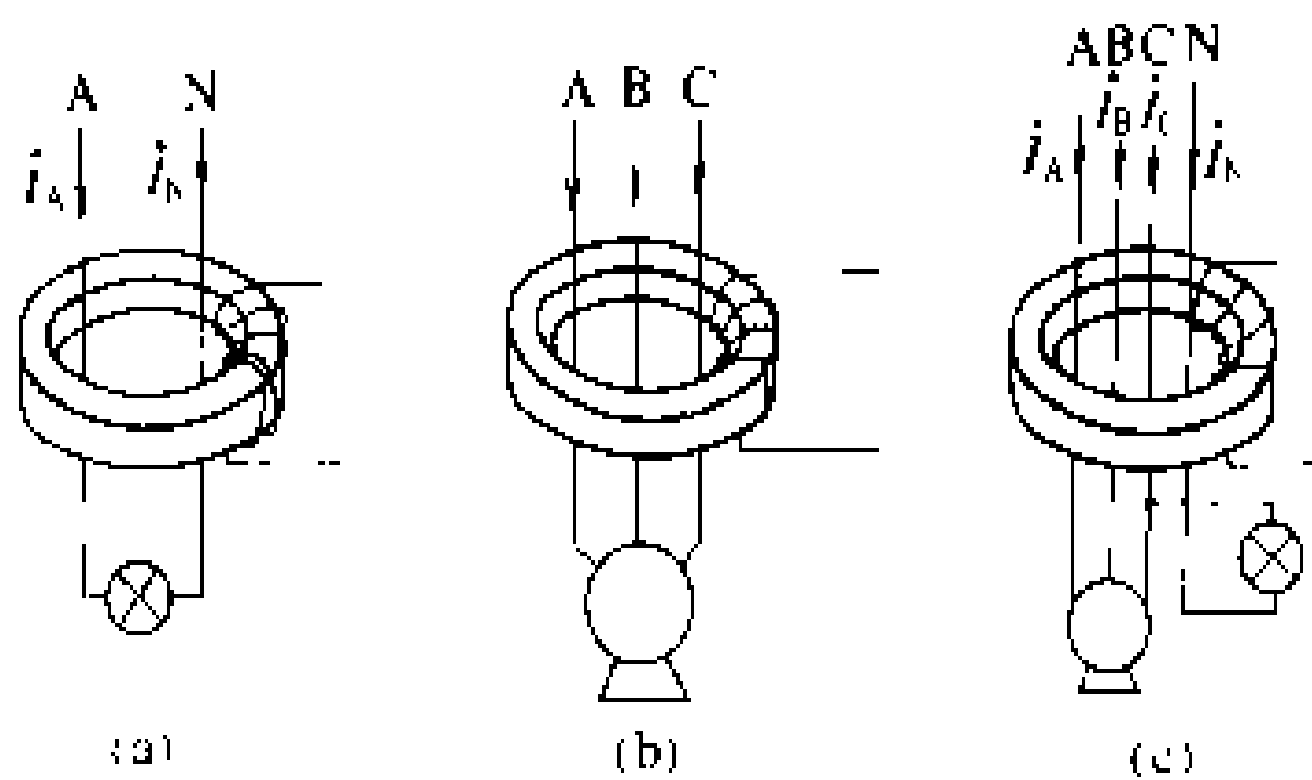


图 3 漏电电流动作保护器工作原理

(a) 单相两线电路；(b) 三相三线电路；

(c) 三相四线电路



绕组中无感应电动势和电流输出。当线路对地有漏电时,零序电流互感器一次绕组电流的相量和将不再为零,二次绕组将有电流输出。对于一些比较简单的漏电流动作保护器,零序电流互感器的输出信号直接推动高灵敏电磁脱扣器来自动分断开关;有些漏电流动作保护器设置放大环节将信号放大后再驱动脱扣器。

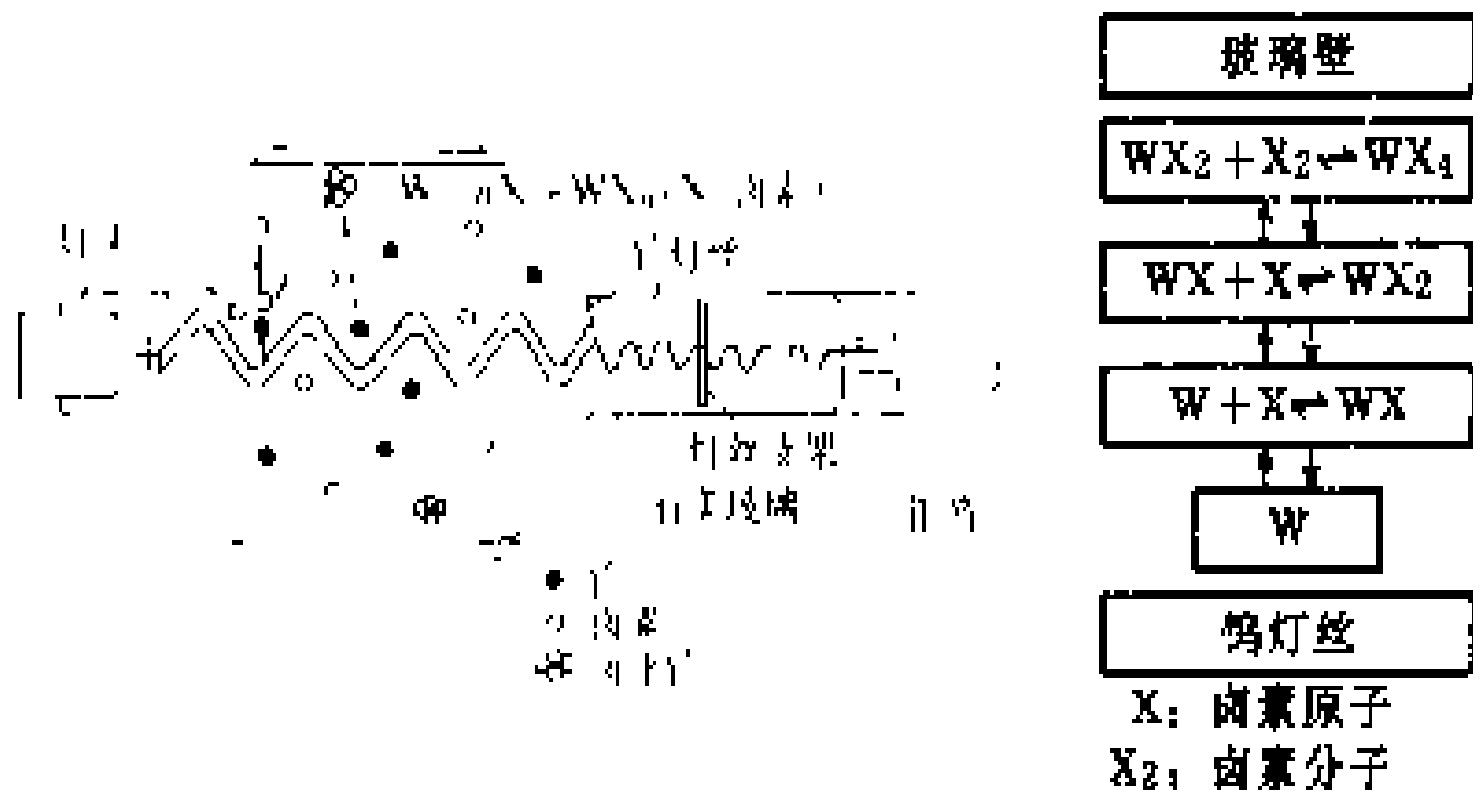
分类 漏电保护器按极数分为单极二线式、二极式、二极三线式、三极式、三极四线式和四极式。按有无过电流保护分为不带过电流保护和带过电流保护。按有无短路保护分为不带短路保护和带短路保护。不带短路保护器的漏电流动作保护器不能通断短路故障电流,因此使用时需另配用低压断路器或熔断器;而带短路保护器的亦称漏电断路器,它兼有保护漏电和过载、短路等性能,故使用时无需再配用其他保护开关电器。按额定漏电动作电流可调性分为不可调和可调式。

使用注意事项 使用漏电保护器时应注意:安装应按安装说明书规定进行接线,不允许接错;漏电保护器均带有试验按钮,用来模拟出现漏电电流,按下按钮后,漏电保护器应自动脱扣而分断电路,如果不能脱扣,表明此漏电保护器已不能使用。

(甘懋云 方鸿发)

luwudeng

卤钨灯 (tungsten - halogen lamp) 在含有一定比例卤化物玻壳里工作的白炽灯。卤钨灯是在充填的气体中另加有微量的卤素物质,利用充填气体中的卤素物质的化学反应的一种钨丝灯。普通白炽灯在使用过程中,由于从灯丝蒸发出来的钨沉积在灯泡壁上而使玻壳黑化,玻壳黑化后透光性降低,造成灯泡光效率降低。在卤钨灯泡内除了充入惰性气体外,还充有少量的卤族元素(氟、氯、溴、碘)或与其相应的卤化物,在满足一定的温度条件下,灯泡内能够建立起卤钨再生循环,防止钨沉积在玻璃壳上。卤钨灯的结构和卤素循环模型如图所示。



卤钨灯的结构和卤素循环模型示意图

由图看出,卤钨灯结构的特点是体积小,重量轻,发光体的形状接近点光源或线光源。这对反光器的光

学设计是很有利的。

工作原理 在卤钨灯中,蒸发出来的大部分钨原子和充填的卤素原子或分子在管壁附近产生化学反应,形成卤化钨。卤化钨的蒸气压较高,而灯管内壁具有相当高的温度而使卤化钨不能附着在内壁上。卤化钨通过扩散和对流,部分卤化钨在灯丝的高温区被分解,被分解出的卤素又和蒸发出来的钨反应,而分解出来的钨则吸附在灯丝表面上。这就是卤钨再生循环的过程。

卤钨的化学反应在一定条件下达到平衡状态,管内壁的黑化现象就可避免。当平衡条件(管壁温度、灯丝温度与充填卤化物的浓度)被破坏,或者是卤素和灯内某一金属部件产生反应,管内壁就会黑化。如果管内壁保持一定的温度,生成的钨和卤化物不能附着在管壁上;同时在管壁附近,钨的卤化物不会被热分解,管壁也不会发黑。

一般的卤钨灯的管壁温度在 250℃ 以上。由于碘的化学活性较弱,不会腐蚀灯丝和支架等温度较低的部分,所以在长寿命、低光效的卤钨灯中,通常用碘作为充填卤化物。在高光效卤钨灯中,则充填入活性强的溴、氯或它们的化合物 HX、CH₃X_n 和 BX₃ 等。

卤钨灯和白炽灯比,发光效率提高 30%,在光效相同的情况下,寿命提高 4 倍,而且灯的显色性好,启动和调光简单方便,灯的功率可做到几十瓦至几千瓦。卤钨灯在民用和公共建筑照明、交通照明和影视照明等方而得到了广泛的应用。

参考书目

M. A. Cayless and A. M. Marsden. Lamps and Lighting. Third Edition, Edward Arnold, 1983

(肖辉乾)

luxiangji

录像机 (video cassette recorder) 利用磁带记录、重放图像和声音信号的视听设备,又称磁带录像机 (video taperecorder)。广泛用于广播节目的制作和播放、医学手术和科学实验的记录、生产过程的监视、电化教育等领域,并已成为家庭文化娱乐用品。

简史 磁带录像技术始于 20 世纪 50 年代。1956 年美国安培克斯 (AMPEX) 公司制成第一台用 2 英寸 (51 mm) 磁带的 4 磁头横向扫描录像机。1959 年日本东芝 (TOSHIBA) 公司研制出 1 英寸 (25.4 mm) 单磁头螺旋扫描录像机。1971 年日本索尼 (SONY)、松下 (NATIONAL) 和胜利 (JVC) 三家公司联合研制出使用 3/4 英寸 (19 mm) 磁带的双磁头螺旋扫描录像机 (U 型盒式录像机)。1975 年索尼公司展出第一台使用 1/2 英寸盒式磁带的 Beta 盒式磁带录像机,1976 年胜

利公司推出 VHS 盒式磁带录像机,1979 年荷兰飞利浦(PHILIPS)和联邦德国格龙迪希公司联合研制出 V2000 录像机。通常泛指的家用户录像机主要就是这 3 种使用 1/2 英寸(12.65 mm)的盒式录像机。1984 年世界 120 多厂商制订出 8 mm 录像机的统一规格,1986 年日本索尼公司推出这种机型。80 年代出现了摄录一体机。

原理 磁带录像技术是在电视(见电视接收机)和磁带录音技术的基础上发展起来的。记录时,先用摄像机拍摄图像,实现光电转换,产生电视信号。电视信号经过放大、加工后加到磁头上。磁头由铁氧体材料制成,外面绕着线圈。当电视信号通过线圈时,在磁头的缝隙间产生随电信变化的磁场。当磁带以恒定的速度运动和通过这个磁场时,就要受到变化的磁场的影响,而把按电视信号变化的磁场记录在磁带上(见图 1)。

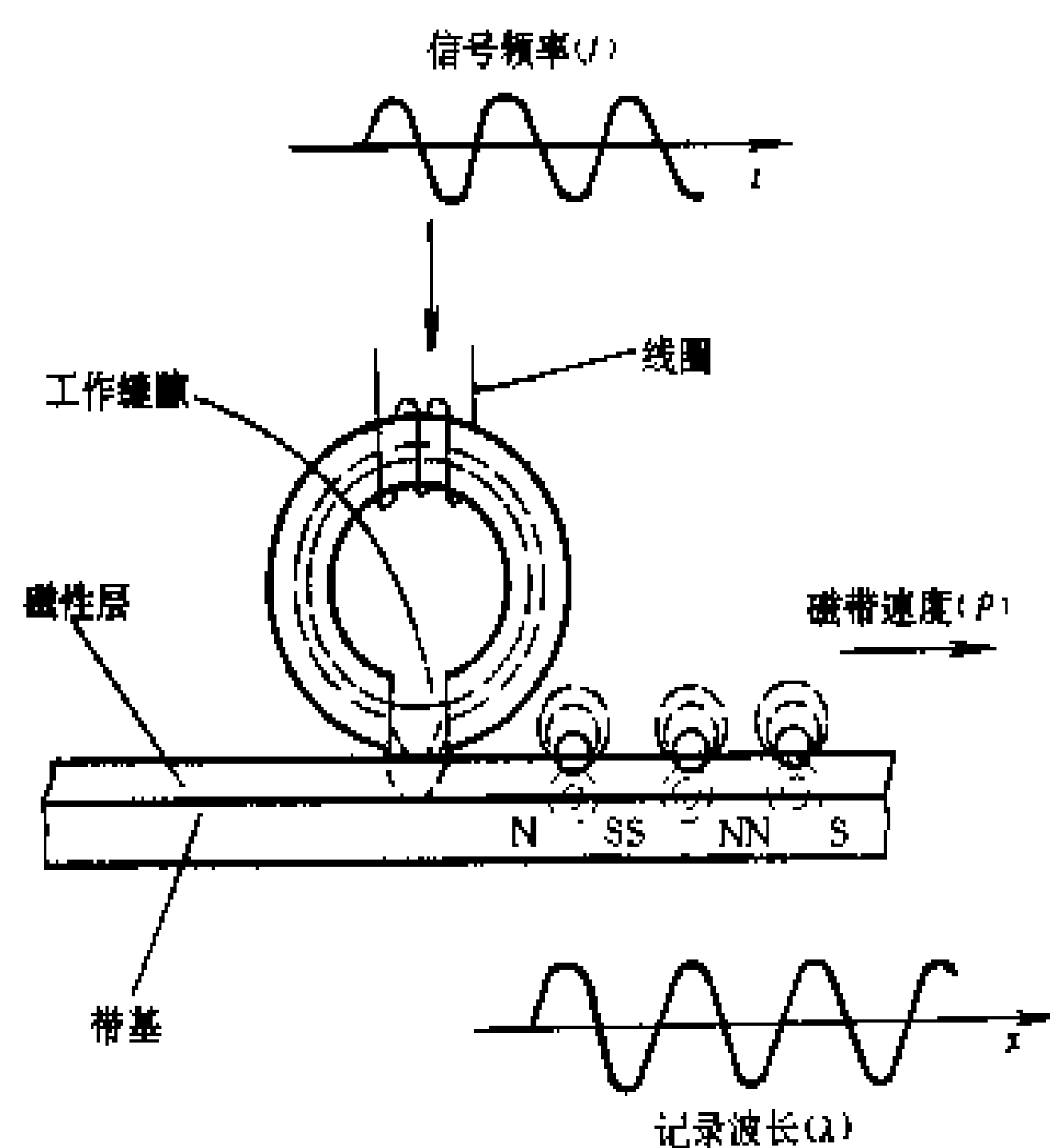


图 1 记录过程

放像时,让磁带以相同的方向和速度通过磁头缝隙,磁带上记录的磁场在磁头上的线圈中感应出电视信号来,这个信号经过加工、放大后加到电视接收机上,便显示出电视图像和伴音(图 2)。

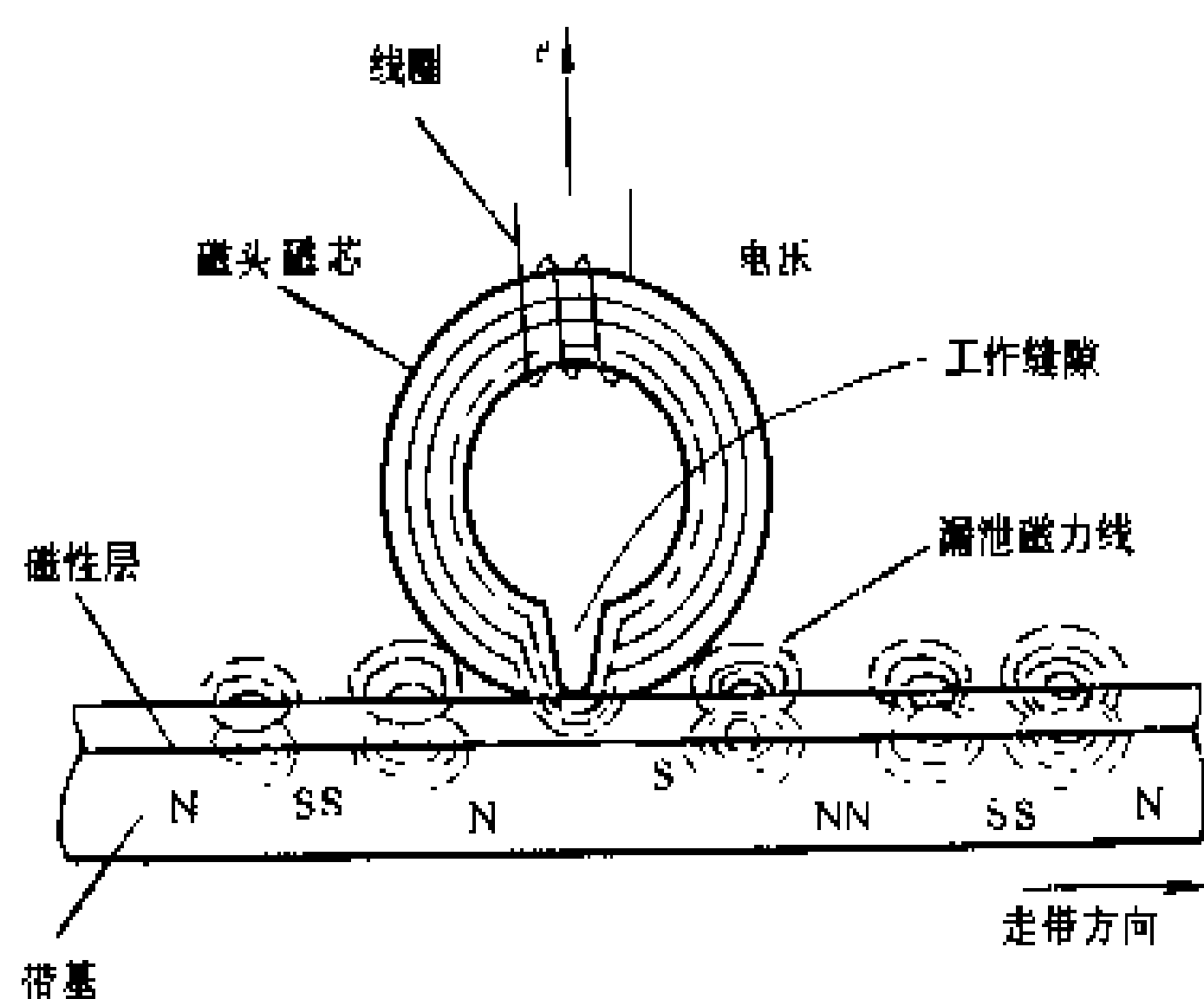


图 2 重放过程

由于电视信号的频率范围很宽(0~6 MHz),录像机采取旋转磁头办法,使磁头和磁带作高速相对运动。

构成 VHS 型录像机由下面 9 个部分构成(图 3)。①接收系统:作用是选择频道,接收并解调电视台的电视节目。它包括天线放大器、高频头、中放解调及

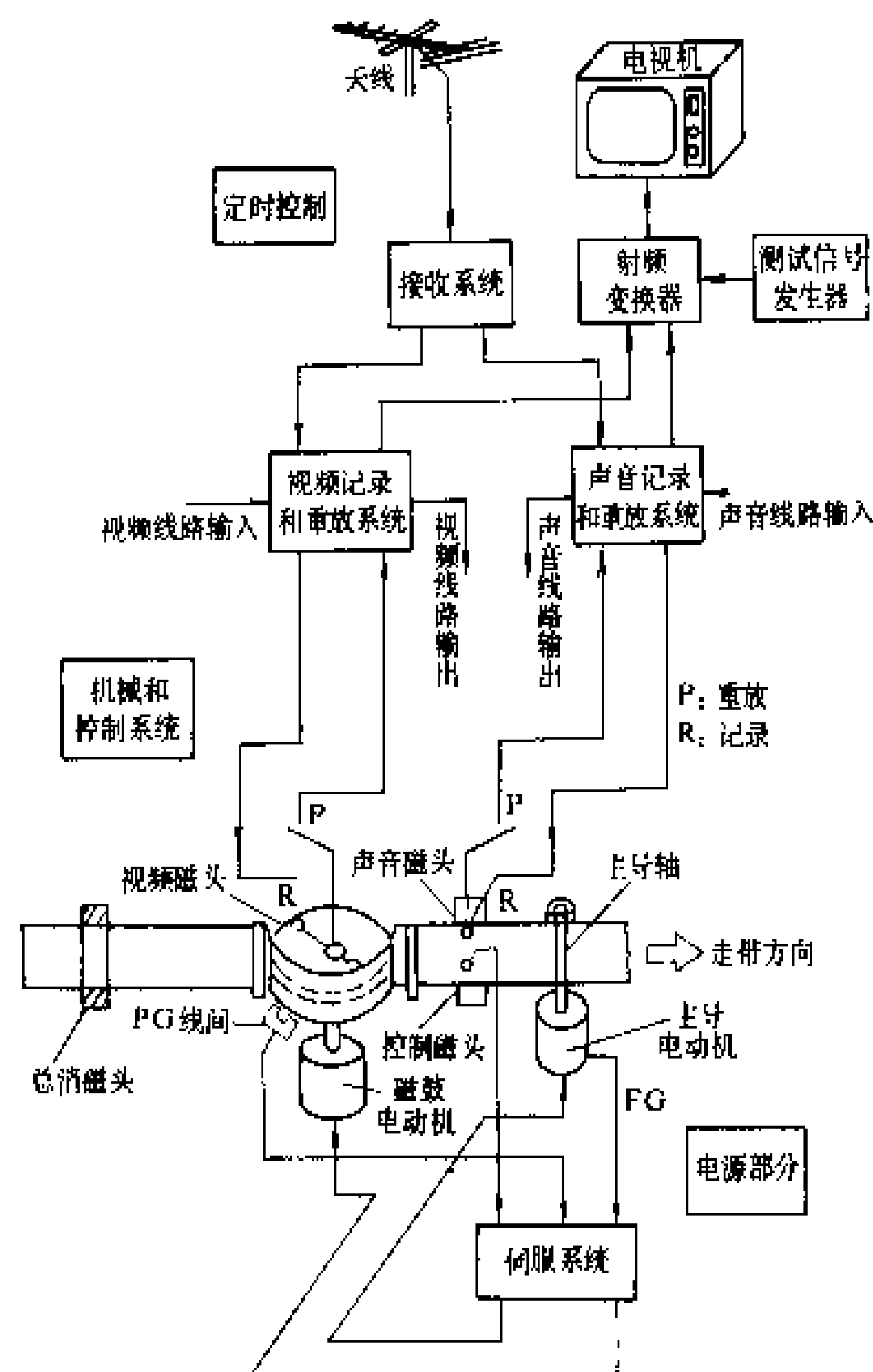


图 3 VHS 型录像机的构成

频道预选电路。天线放大器的作用是对 VHF 和 UHF 电视频道内的所有信号进行放大。②定时控制系统:按预置的时间自动启动录像机进行记录。③视频记录和重放系统:记录时,从线路输入信号中的一路,经处理后送往视频磁头。重放时,将视频磁头拾取的微弱信号放大、处理,恢复成全电视信号输出。④声音记录重放系统:记录时,从接收到的电视台伴音和线路输入的声音信号中的一路,经放大、处理后送往声音磁头。重放时,放大声音磁头拾取的微弱信号,经处理后送出。⑤伺服系统:控制磁鼓转速和旋转位置;控制走带速度,控制磁带走行时的张力。⑥机械与控制系统:建立走带路径,保证磁带与磁鼓有正确的位置关系;驱动电动机;进行快进、倒带、录放等状态的转换控制。⑦射频转换器:将重放的视频(或测试信号)和声音调制在某一频率上,从射频输出插座输出,送往电视机。⑧测试信号发生器:产生测试信号送给射频转换器,为电视机调准频道提供信号。⑨电源部分:为录像机各系统的电路提供直流电源。

功能 除可录像及重放外,多数录像机都具有静



放、慢速重放、快速重放和倒放等功能。

静放 磁带停止向前移动，磁头鼓仍按正常速度运行以获得静止不动的图像。分为帧静像和场静像。

(1) 帧静像，由两场图像信号合成输出并交替重复的静止图像。两个视频磁头因方位角不同，分别交替地拾取与其方位角一致的磁迹信号，这样将会出现两场交替重复的静止画面。帧静像通常有重影现象。

(2) 场静像，又称超级静像。在磁头鼓上装特殊重放用的同方位角磁头，当进行静止重放时，通过控制，使这两个同方位角的磁头只扫描一条（一场）与磁头磁化的方位相同的磁迹信号。由于输出的图像信号由场信号组成，故输出幅度稳定，消除了重影现象。

慢速重放，由静放和重放两种工作方式交替进行而产生的慢动作重放。慢速重放时，磁带在走带和停止两种方式下工作，通过控制走带时间和停止时间的比例关系控制慢速重放的倍数。但磁带走带时间和停止时间必须是图像帧频的整数倍。同时要严格控制视频磁头鼓的转速，例如要实现 $1/8$ 倍数的慢速重放，就应该使磁带按标准带速重放 1 帧，停止走带并使视频磁头重复扫描 1 帧。慢速重放分帧慢速重放和场慢速重放，两者在标准带速重放时都重放 1 帧信号，而停止走带时的重复扫描分别与帧静像、场静像相同。

快速重放 通过加快磁带向前移动的速度获得的快动作重放。此时音频部分频率变高，因此有些机器将音频部分抑制掉。

倒放 改变磁带的移动方向，通过视频磁头重放出动作顺序相反的活动画面。如果控制其磁带的速度，就会实现快速倒放（倒寻），慢速重放（慢速倒寻）等功能。

选购 选购录像机时应注意：①根据用途确定录像机的级别。要求特别高的广播台可选用广播级录像机，一般的广播台可选用高档业务级录像机。②录像机适用的电视制式（包括 PAL 制、NTSC 制和 SECAM 制）要与监视器或电视接收机的制式一致。③磁带种类要与录像机种类相匹配。

使用 使用录像机时应注意：①放置录像机的环境应干燥、清洁，使用一段时间后应打开机壳清除灰尘。灰尘过多会加速磁头及磁带的磨损。②磁带放置时应避开高温和强磁环境。高温会使带盒变形和加速老化，强磁场会使录制节目质量下降甚至消失。③尽量避免碰触视频磁头。视频磁头结构薄、材料脆、机械强度极差，清洗磁头时要特别小心，不能上下擦洗。擦洗时，用一手持蘸清洗剂的软质皮，轻轻接触磁鼓外缘，另一手转动磁鼓。④磁头磨损或损坏时要连同上磁鼓一同更换，要有专用工具并有一定技术经验。⑤静止画面重放时间不可过长，否则会加剧磁带局部磨

损。⑥盒式磁带不要叠放，防止带盒变形。不要用手触摸磁带磁粉涂层。

分类 录像机有多种分类方法：①按使用范围的不同可分为电视广播用、业务用和家用。②按使用条件的不同有供室内使用的台式机和供移动使用的便携机。③按其功能可分为放像机、录像机、编辑录像机和摄录一体机。④按其磁头扫描方式可分为横向扫描、纵向扫描和螺旋扫描三种。⑤按磁鼓上磁头个数可分

为单、 $1\frac{1}{2}$ 、2、3、4、6 磁头机等。⑥按磁带的安装方式可分为开盘式和盒式两种，其中盒式又分为双盘式和单盘式两种。⑦按所用磁带宽度可分为 2、1、 $3/4$ 、 $1/2$ 、 $1/4$ 英寸及 8 mm 等。⑧按彩色电视制式分为单制式及多制式录像机。

展望 录像机的发展趋势是高质量化、数字化和小型化。主要有以下新型机种：①数字化录像机，主要是保证磁带经多代复制后节目质量不下降。②8 mm 录像机，采用新的高密度记录技术和更加小巧的精密走带机构。音、像重放质量比现有家用录像机都好。③摄录一体机，将 8 mm 录像机和使用电荷耦合器件（CCD）的固体摄像机组合成一体化摄录机，重量在 2 kg 以下，体小轻便。④高保真（Hi-Fi）和高质量（HQ）家用录像机，在保持图像质量及互换性的前提下，利用旋转磁头和调频技术录放音频信号，可使音频频响达到 20~20000 Hz，动态范围达到 80 dB，显著提高了音频录放质量，利用双向轮廓加强、降噪电路等使图像质量进一步提高。⑤高清晰度录像机，配合高清晰度电视广播的新型录像机。

近年来研制的超高密度磁带和金属磁带、新型磁头及走带系统、自动循迹技术、分量模拟记录技术、视频信号的压扩技术、Hi-Fi 音频技术等成果，使电视广播和业务用录像机进入了体积小、操作自动化及盒式磁带化的阶段，使小型家用录像机更加完美。

（张国忠）

ludeng yongdian

路灯用电 (electrical energy utilization of road lamp)

用于道路照明的路灯所消耗的电能。为了保障车辆和行人的安全，防止犯罪活动的发生，美化城市环境和丰富人们夜间生活的需要，一般在夜幕降临以后和天亮之前，在道路设置必要的路灯照明。为了确定道路照明的标准，各国均将道路进行分类。中国将城市道路分为：①快速路；②主干路及迎宾路、通向政府机关和大型公共建筑的主要道路、市中心或商业中心的道路、大型交通枢纽等；③次干路；④支路；⑤居民区道路等五类。国际照明委员会（CIE）所



推荐的道路分类见表。不同类别道路相应的照明标准如亮度、照度、眩光限制等也不同。

CIE 推荐的道路分类 (1977)

道路类别	交通密度和类型	道路类型	举 例
A	大量和高速的汽车交通	具备单行道、完全畅通无阻的平面交叉、完整的入口控制道路	快速公路、高速公路
B		仅供汽车行驶的重要道路,快慢车道、人行道尽可能分开	干道、重要道路
C	大量和中速 ^① 汽车交通或大量中速混合交通	重要的、多用途的郊区或城区道路	环路、放射型道路等
D	主要是慢车或行人的相当繁忙的混合交通	市中心或商业中心的道路,通向官方建筑物和行政区域的道路,这些地方汽车交通往往碰到大量的慢车或行人	干道、商业街、商店街等
E	限制速度和中密度的混合交通	居住区(居住区街道)和上述几种类型道路之间的连接道路	连接道路、地区街道等

① 中速速度限制在 70 km/h 左右。

路灯常用光源有热辐射光源(白炽灯)及气体放电光源(高压汞灯、高压钠灯、低压钠灯和金属卤化物灯等)。路灯照明光源应具有寿命长,光效高,可靠性和一致性好等特点。

供电方式 路灯供电方式一般有三种:

(1) 高压供电。由变电所送出 10 kV 线路专供路灯用电,如中国北京、天津等城市采用这种方式。

(2) 低压供电。由地区 10 kV 线路的公用变压器或专用路灯变压器的低压供给路灯电源。这是较普遍采用的供电方式。

(3) 双电源供电。为了提高重要道路路灯供电的可靠性,可采用双电源低压侧自投的供电方式。

控制方式 路灯控制有定时照明控制和光电照明控制两类。定时照明控制所采用的器件为定时钟或路灯控制仪;光电照明控制采用的器件为光控开关。

用电特点 路灯用电具有以下几个特点:

(1) 电压偏移不大于+5%、-10%。电压质量直接影响照明效果和灯泡的寿命。各种光源灯泡的光通量、功率、电流等参数随电源电压变化而变化。因此,要求电压变化偏离额定值不宜过大。中国规程规定,低压照明用户端电压变动幅度应不超过+5%、-10%。

(2) 照明时间要求不间断供电。路灯要求供电电

源在照明时间内不间断供电。特别是气体放电灯,当电压波动较大或瞬间停电后,路灯均会熄灭,灯泡需经冷却后才能再点燃,恢复到正常燃点需要几分到十几分的时间,将会给重要道路照明带来不良的后果。

(3) 负荷利用小时低。早晨与傍晚路灯的开关时刻由天空亮度而定。一般依据天文学的民用晨光始和民用昏影终制订路灯的开关时刻表。不仅路灯负荷利用小时低,且不同的经度和纬度开关灯的时刻有所不同,因而全年负荷利用小时数也有差异。如北京地区接近 4000 h。

(4) 功率因数低。因各种气体放电灯工作时,均需配置一个起稳压稳流作用的镇流器,镇流器本身是个电感负荷,故路灯的功率因数在 0.40~0.67 之间。因此,路灯用电需进行无功补偿。

节电措施 路灯节电的主要措施有:①采用高光效白光源及节能电器和设备;②采用高效率的照明器;③定期清洗照明器,提高光的利用率;④对每盏灯进行分散无功补偿;⑤对部分路灯实行前半夜照明的方式;⑥进行科学合理的照明与供电设计,以最少的电能消耗取得最佳的照明效果。

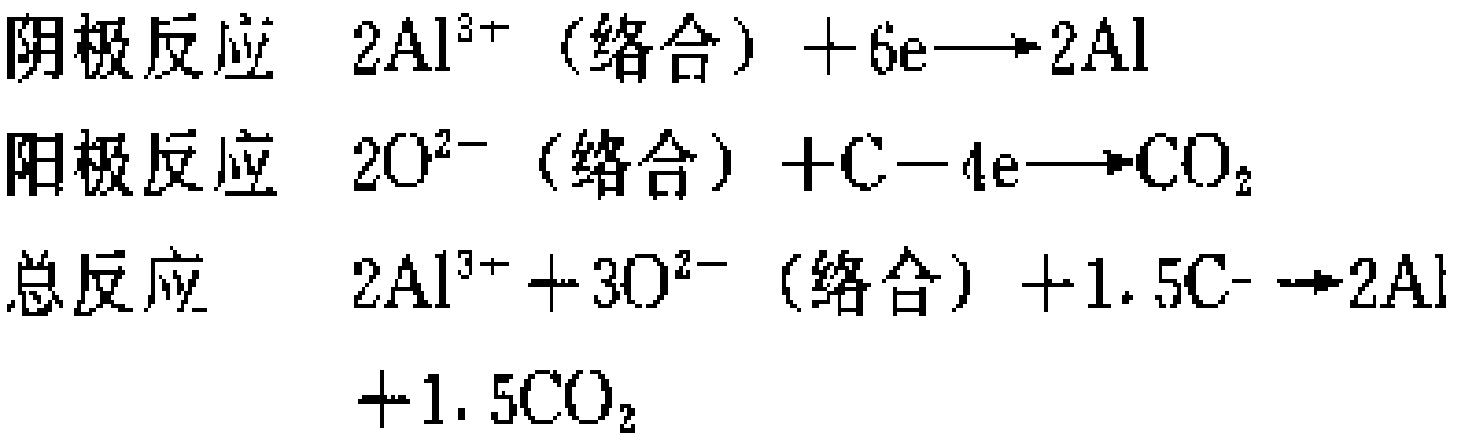
(高继昌)

lǚdiànjīe

铝电解 (aluminium electrolysis) 利用熔盐电解提取金属铝的电冶金过程。电解体系中的电解质为多组分盐的熔融体,高温操作、消耗大量电能是其特点。因此,选择可靠电源和节约电能始终是被关注的问题。

原理 以氧化铝为原料、冰晶石为熔剂、各种添加剂等组成的多组分盐为电解质,加入电解槽内,通直流电,在 950~970℃ 下熔融,使电解质中的氧化铝分解。在阴极析出液态铝汇集在槽底,真空抽出铝液,经净化、澄清、除氢、非金属和金属杂质后铸成铝锭。在阳极析出 CO₂ 和 CO 气体。阳极气体中含有氟化氢等有害气体,可用湿法或干法净化处理,以免污染环境。湿法用碱溶液洗涤后合成冰晶石。干法则用氧化铝吸附,载氟氧化铝送电解槽作电解原料。

冰晶石-氧化铝熔体具有离子结构,其阳离子有 Na⁺ 和少量 Al³⁺;阴离子为 AlF₆³⁻、AlF₄⁻、A-O-F 络合离子及少量 O²⁻ 和 F⁻。其主要析出反应如下:



铝电解槽的槽电压随槽型和电流强度而不同,一般为 4~4.5 V,槽电流强度在 60~280 kA 之间,电流

效率为 88%~95%，每吨电解铝消耗直流电能 13200~14500 kW·h，交流综合电耗 14000~16000 kW·h。

铝电解体系 由阴极、阳极、电解质、槽壳和直流电源等组成。

阳极分为预焙阳极和自焙阳极两种。主要材料都是石油焦和沥青。预焙阳极是将石油焦和沥青糊料压制成型，经过焙烧固化而成。自焙阳极是利用流经电解槽内的电流产生的焦耳热将石油焦和沥青制成的阳极糊焙烧热解固化而成。

阴极是将石油焦、无烟煤和沥青混合的糊体压制成型，然后焙烧成阴极碳块，砌衬在槽壳的底部形成的。

电解质是由 Na_3AlF_6 、 Al_2O_3 及添加剂如铝、镁、钙、锂等多组分盐组成的。采用多组分电解质和加入添加剂的目的是：降低槽温，提高电解质的导电率，提高电流效率，降低电解质的蒸发损失。

槽壳由钢板制成，其内部衬以耐火材料。

铝电解槽按阳极型式可分为预焙阳极槽和自焙阳极槽两种槽型。按打壳加料方式划分，预焙阳极槽又可分为边部加料和中间加料两种，见图 1；按导电方式划分，自焙阳极槽又分为旁插导电和上插导电两种，见图 2。

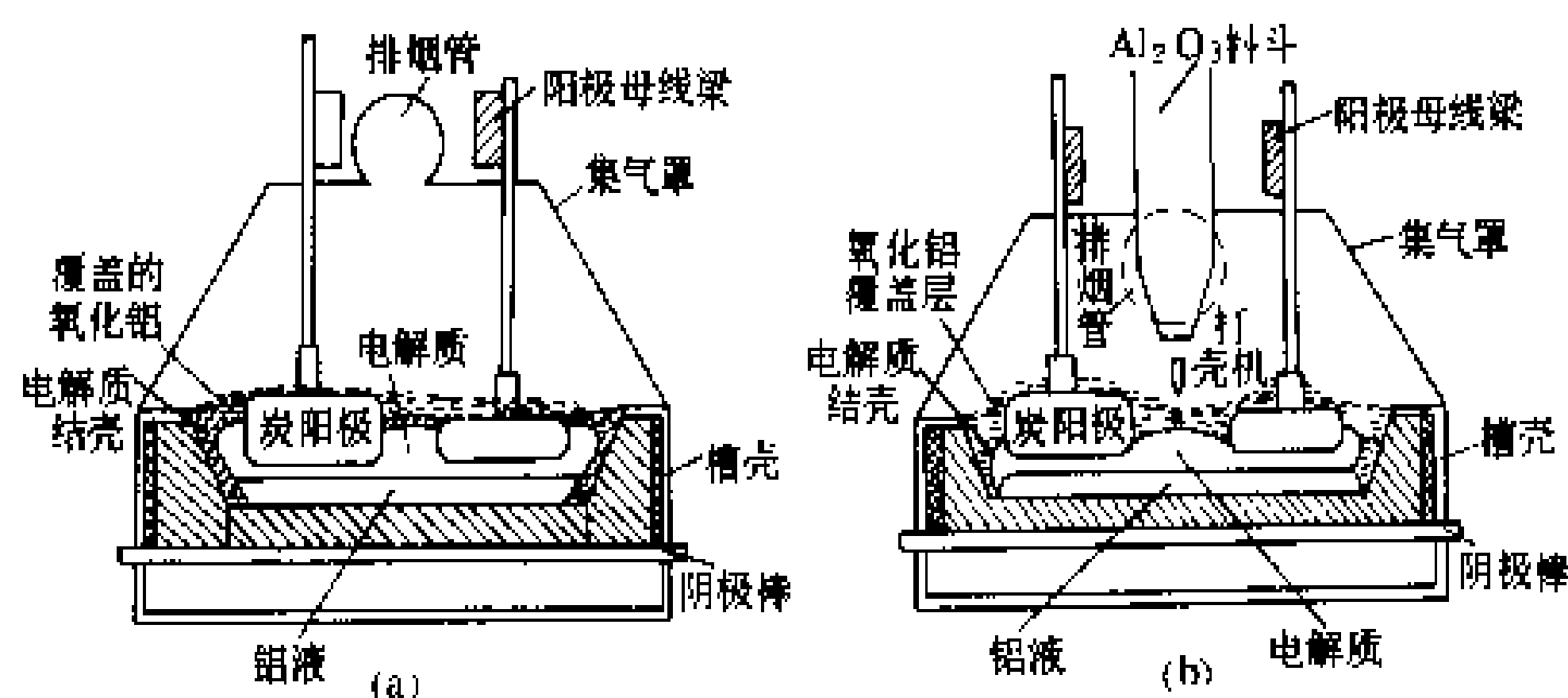


图 1 预焙阳极槽构造图

(a) 边部加料；(b) 中间加料

铝电解要求用直流电源。整流设备多采用大功率硅半导体整流器。铝电解工艺要求有连续、可靠的电源，停电会导致发生电解质冻结和破坏电解槽内衬的严重事故。

铝电解槽系列是由若干电解槽在电气上串联组成。

节能措施 铝电解是高耗能工业，降低电能损耗一直是铝电解工业追求的目标和任务。主要的节能措施和途径有：

(1) 改进结构和操作技术条件。采用耐高温、防电解质渗透和保温性能好的材料作内衬材料，以延长

内衬寿命和加强保温，减少热损失。添加锂、镁等复合盐以降低电解质温度、提高导电率，并可以提高电流效率和降低电能消耗。保温、长寿命和低温进行电解是降低电能消耗的有效措施。

(2) 采用高效、节能的大容量铝电解槽配套技

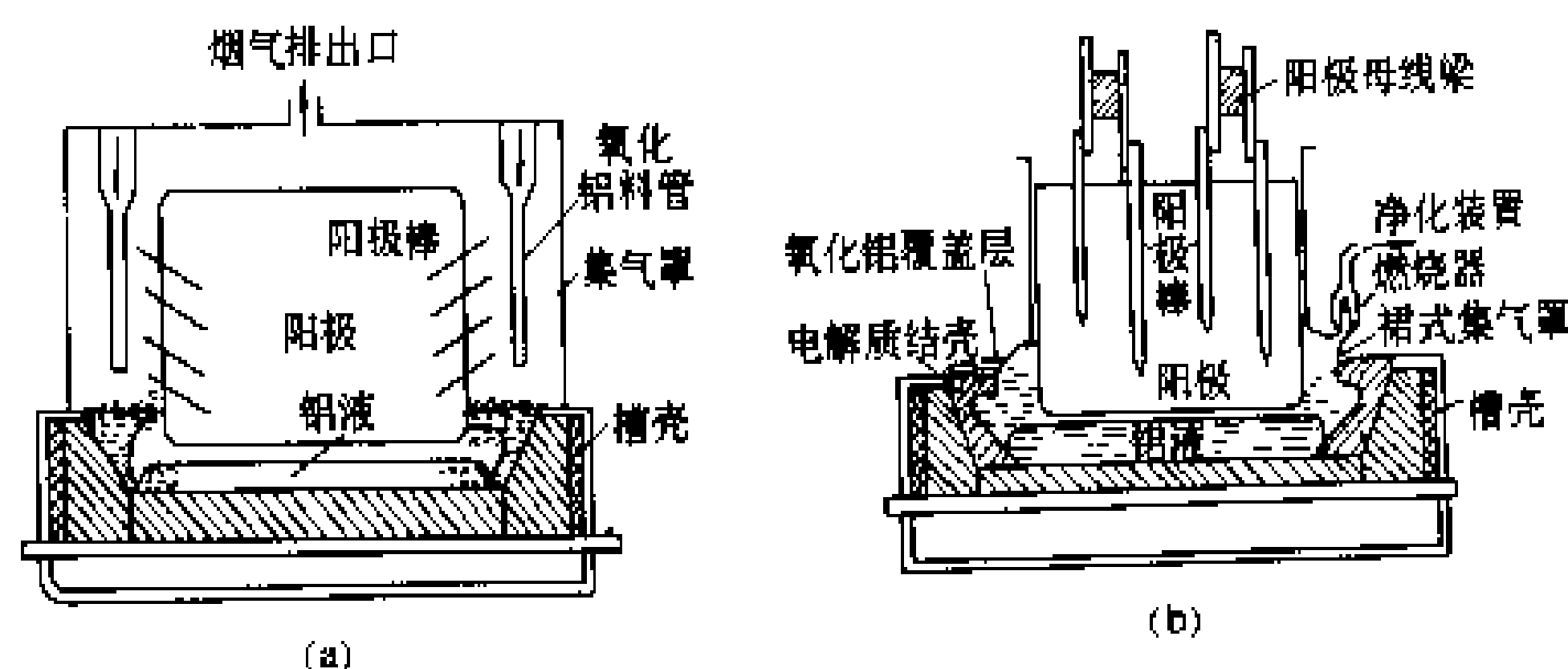


图 2 自焙阳极槽构造图

(a) 旁插导电；(b) 上插导电

术。世界先进的铝电解槽配套技术包括：180~280 kA 的中心加料预焙阳极电解槽、分布式电子计算机过程控制系统和干法烟气净化系统。电流效率为 93%~95%，直流电能损耗降到 12900~13200 kW·h/t。

(3) 采用高效、节能的直流硅整流器，提高电流传输效率。普遍采用大功率硅整流器，整流效率达 97%~98%。采用低阳极电流密度 $0.7\sim 0.75 \text{ A/cm}^2$ 和低母线电流密度 $0.25\sim 0.35 \text{ A/mm}^2$ ，缩短电解槽间的中心距离，从而大大减少线路电阻，取得降低电耗的目的。

(4) 保证连续、稳定和可靠的供电。是减少事故和提高电解效率的根本保证。铝电解厂的一级负荷占总负荷的 95%。铝电解厂不允许停电。

发展简史 金属铝早先是用化学方法提取的。1825 年，丹麦 H.C. 奥斯特 (H. C. Oersted) 用钾汞齐加热还原无水氯化铝获得金属铝。现代工业制铝法是 1886 年美国 C.M. 霍尔 (Charles Martin Hall)

和法国 P.L.T. 埃鲁 (Paul Louis Toussaint Héroult) 同时发明的，即直至今日唯一的工业炼铝方法，通称霍尔-埃鲁法。百多年来，在炼铝的基本原理上没有变化，但在电解槽槽型、电极型式、电解技术、整流设备上都有很大改进。

参考书目

邱竹贤. 铝电解. 北京: 冶金工业出版社, 1982

(杨万志 刘天齐)

lugongye yongdian

铝工业用电 (electrical energy utilization of

aluminium industry) 铝工业在有色金属工业中是产量大、耗电多的工业。铝工业从开采含铝矿石开始,从矿石中提取氧化铝(俗称铝氧),并把氧化铝送到电解槽内进行电解生成铝,将铝铸成铝锭,继而再加工成各种铝材。

铝工业中除采矿与铝材加工外,氧化铝提取和铝电解(见铝电解、镁电解)都是连续生产的工艺,对供电可靠性要求较高。如氧化铝生产是在管道和各种槽中进行,连续性很强,部分生产设备停电将造成整套设备停产,其中烧结生产的回转窑突然断电可能使窑身弯曲;铝电解槽突然停电,半小时内虽不致损坏设备,但恢复送电时需用电晶石保温,几个小时内只耗电不产铝,停电超过1h,将无法正常运转,需把串联供电的电解槽分批升压启动,损失更大,甚至损坏电解槽内衬,需大修才可修复。为保证可靠供电,一般需要两个或两个以上的独立电源,而每个电源都能负担主要生产用电负荷,以保证在任何情况下都能维持正常生产。

生产工艺 铝工业的生产分为采矿、氧化铝提取、铝电解、铝材加工四个阶段。

(1) 采矿。含铝矿石有霞石、兰晶石、明矾石、铝土矿等多种,中国多以铝土矿为制铝原料,铝土矿中氧化铝含量因产地不同而异,一般在30%~70%之间。矿石开采有露天开采和地下开采两种,中国主要采取露天开采,其采矿工艺与露天煤矿开采类似(见煤炭工业用电)。

(2) 氧化铝提取。氧化铝为 Al_2O_3 ,从铝土矿提取氧化铝的方法有拜耳法、碱石灰烧结法、拜耳烧结联合法、电热法等。用拜耳法生产氧化铝的产量占世界产量的大多数。

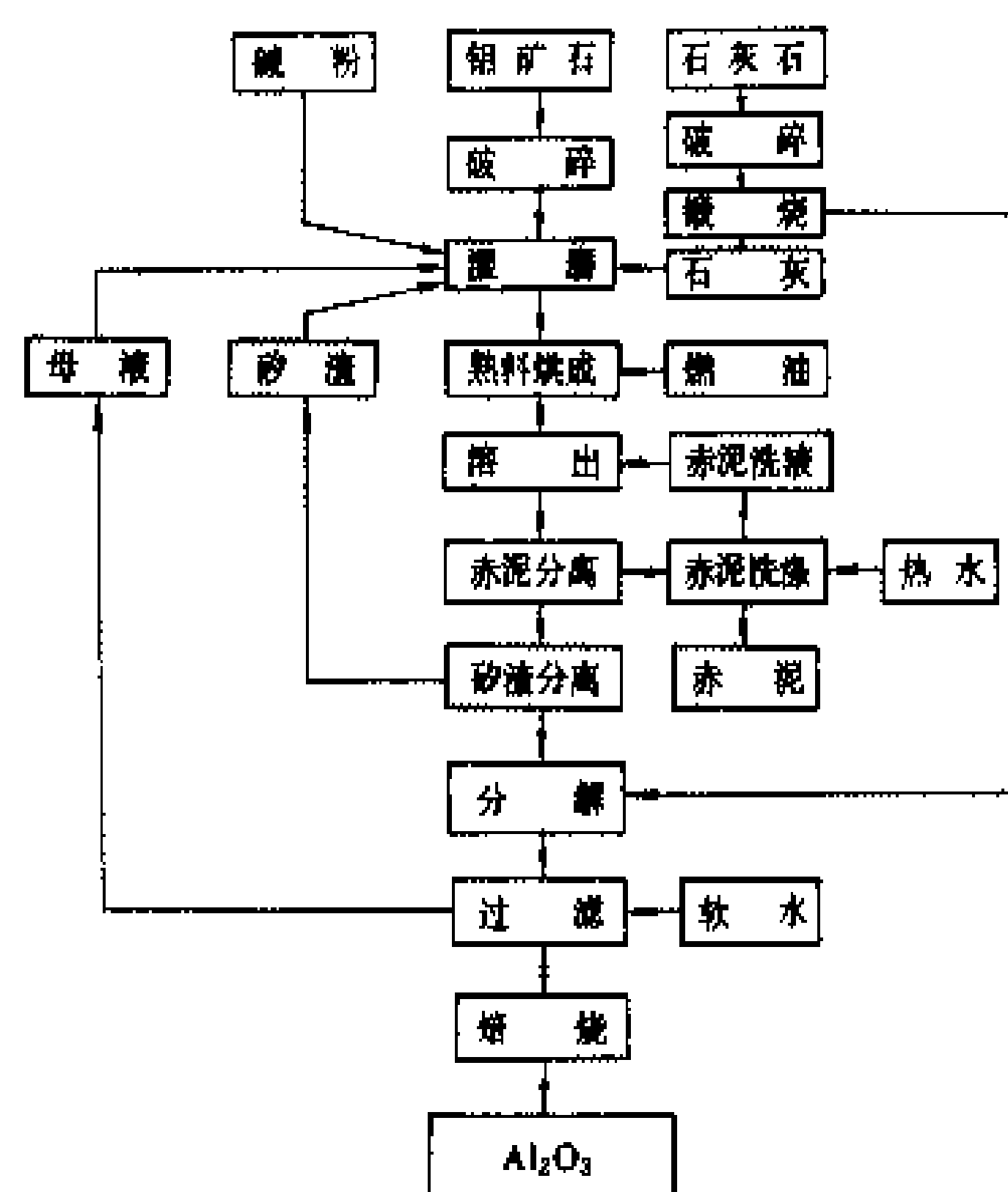
拜耳法(又称结晶法)提取氧化铝的原理是用氢氧化钠溶液加热溶出铝土矿中的氧化铝得到铝酸钠溶液,与残渣(又称赤泥)分离后加入氢氧化铝颗粒做晶种,经搅拌分解析出氢氧化铝,经焙烧排出结晶水得到氧化铝。其工艺流程如图所示。

由于氧化铝提取需要大量热水,故氧化铝生产企业多设自备热电厂实行热电联产(见火力发电卷 热电联产)并作为保安电源。

(3) 铝电解。铝电解耗电较多,多设在电源丰富的地区。它以氧化铝为原料、冰晶石为熔剂,与多种添加剂等组成的多组分盐为电解质,加入电解槽内,通直流电,在950~970℃下熔融使氧化铝分解在阳极析出液态铝汇集在槽底,真空抽出并铸锭,每2t氧化铝可制成1t铝锭。

(4) 铝材加工。用塑性加工方法加工成材,主要加工方法有轧制、挤压、拉伸和锻造,制成板、带、箔、

管、棒、型、线等铝材或锻件。



氧化铝生成工艺流程

用电特点

(1) 氧化铝和电解铝的生产均为连续性生产,日负荷曲线很平稳,氧化铝生产日负荷率在85%以上,电解铝生产日负荷率在95%以上。

(2) 氧化铝单耗为400~500 kW·h/t,电解铝直流电耗为13200~14500 kW·h/t。

(3) 电解铝供电系统中设有总降压变压器、调压变压器、整流变压器,所以无功消耗比较大,致使自然功率因数较低,需安装大量电容器进行补偿。

(4) 电解铝的直流电源多用晶闸管整流,产生的高次谐波使电网供电电压波形畸变,需采取防治措施(见整流器谐波)。

(蒋凤铎 顾嘉来)

氯碱工业用电

(electrical energy utilization of chlor-alkali industry)

氯碱工业属化学工业,也是化工生产中的耗电大户,产品分为碱产品和氯产品。碱产品主要是指烧碱。氯产品主要是指聚氯乙烯、盐酸和商品液氯,这三种产品平衡了76%左右的氯气。氯碱工业需要用大电流的直流电源,又由于氯碱工业生产环境具有易燃、易爆和腐蚀性强的特点,故对供电可靠性要求很高。

生产工艺 由于氯碱工业生产的基本工艺是利用电能对食盐水溶液进行化学分解的方法获取氢氧化钠、氢气和氯气,再分别进一步加工生产出合格碱产品和氯产品,所以氯碱工业产品属高耗能产品,其中最典型的高能耗工序是电解食盐水生成烧碱(见水电解和食盐电解)。1989年中国生产隔膜法烧碱的平均综合

能耗为 1697 kg (标准煤) /t, 其中电耗占 56%。

烧碱生产依采用不同的制碱技术而区分为隔膜法、水银法和离子膜法, 20 世纪 70 年代开拓的离子膜法制碱, 质量纯度高, 电耗低。由于中国电能紧缺, 能源价格及装备费用的急剧变化, 发展离子膜碱不再仅仅是为了制取高纯碱, 而把节约能源亦作为发展离子膜制碱的依据之一。

用电特点 氯碱工业的主要用电设备是电解槽, 其分类有石墨阳极隔膜电解槽、金属阳极隔膜电解槽、水银电解槽和离子膜电解槽等。各种不同材料、不同结构型式电解槽的内部机理基本一样。氯碱工业用电特点可归纳如下。

(1) 需要大电流的直流电源。随着石油化工的发展, 氯碱企业向大型化发展, 电解槽也向大型化、高电流密度方向发展。直流电流大小随着电解槽的阳极有效面积和电解槽种类的不同而异, 一般在几千安培到几十万安培; 各种电解槽的电流密度差别也较大, 石墨阳极电解槽电流密度一般在 800 A/m^2 , 金属阳极电解槽电流密度一般在 2000 A/m^2 , 水银电解槽电流密度一般在 6000 A/m^2 以上, 离子膜电解槽电流密度一般在 4000 A/m^2 。

(2) 要求直流供电电源有稳流和电压调节能力。为使电解生产持续、稳定地进行, 要求电解生产系统能进行电流调节、平抑电压波动和增减电解槽数。因而, 氯碱企业的大容量整流装置都必须具备一定范围的电压调节能力 (一般调压范围均大于额定电压的 50% 以上) 和自动稳流措施。

(3) 负荷稳定。氯碱企业生产是连续性生产, 在正常生产中负荷较稳定, 日负荷曲线平稳, 日负荷率在 95% 以上。

(4) 单耗高。由于氯碱产品是用电能完成化学反应面获得的, 所以单耗较高。1990 年中国烧碱平均单耗为 $2551 \text{ kW} \cdot \text{h/t}$, 先进水平大约在 $2440 \text{ kW} \cdot \text{h/t}$ 左右, 离子膜碱单耗约 $2350 \text{ kW} \cdot \text{h/t}$ 。在生产过程中, 不断提高电流效率, 严格控制电流密度, 降低槽电压是提高电能有效利用率, 降低烧碱单耗的关键措施。

(5) 自然功率因数小于 0.9。由于电解生产对直流电源有调压和稳流的要求, 一般氯碱企业的整流装置均采用交流侧有载调压整流变压器和饱和电抗器相配合的直流电源或采用晶闸管调压整流装置, 虽满足了生产需要, 但也相应降低了整流装置的自然功率因数, 使自然功率因数达不到 0.9, 为此不少企业均增设有电无功补偿装置。

(6) 要求电气设备和材料要考虑防腐蚀。氯碱企

业的环境腐蚀性强, 所以在电气设备和材料的选型和维修上必须注意防腐蚀。

(7) 对电力系统产生谐波污染。整流装置是电网谐波源之一。氯碱企业用的整流装置多, 整流装置工作过程中产生的高次谐波电流, 造成电力系统的谐波污染 (见谐波)。随着氯碱工业的发展, 大型硅整流装置、晶闸管整流装置的使用已日趋普遍, 治理谐波源的问题也已相应提到日程上来。(见整流器谐波)

对供电要求 氯碱工业中的电解生产过程是持续进行的, 而且氯产品和碱产品在整个生产过程中的平衡关系是较严密的。在电解生产过程中, 不论是直流供电系统突然断电, 还是动力操作系统突然断电, 都可能引起爆炸, 造成人员伤亡、设备损坏和生产系统的混乱, 还可能造成氯气外溢危害人身、污染庄稼等灾害。氯碱工业的用电性质决定了它对供电可靠性要求很高, 其用电负荷应属一级负荷。(见用电负荷级别)。

发展趋势

(1) 氯碱工业是主要的耗能工业, 随着能源的紧张和危机, 各国对氯碱生产工艺均进行着一次又一次的重大变革。如电解槽以金属阳极取代石墨阳极; 用离子膜法取代传统的隔膜法, 并以其生产的碱的浓度高、质量好、能耗少、成本低、经济效益显著等优点而迅速普及。

(2) 随着晶闸管整流装置可靠性的大幅度提高, 其稳流自控性能更加先进和完善, 使越来越多的晶闸管整流装置在电化学行业得到了普遍使用。

(3) 由于大功率晶体管研制成功, 使得改变其基极电位来有效地控制集电极电位和输出电流成为可能, 并且无电流畸变现象, 是很有发展前途的新一代变流元件。

(4) 供电系统简单化。尽量压缩变、配电线路距离, 整流变压器单台容量增大, 将进线电源直接引至高压开关柜, 经整流变压器、晶闸管整流器将直流电直接通过较短的母线排送至电解槽。

(5) 电气设备布置更加紧凑。将变压、调压、整流设备组装成一体, 且可露天放置。

(6) 安全可靠性提高。将整流变压器和整流设备密封在一个箱体中焊死, 可保证安全运行 25 年不检修。

(7) 由于冷却用水管路易漏, 并有电腐蚀, 加上近代大功率元件的使用, 使高效冷却技术 (如热管冷却或沸腾冷却) 和恢复自然冷却的课题提到日程上来。

(刘志尧)



maihuhan

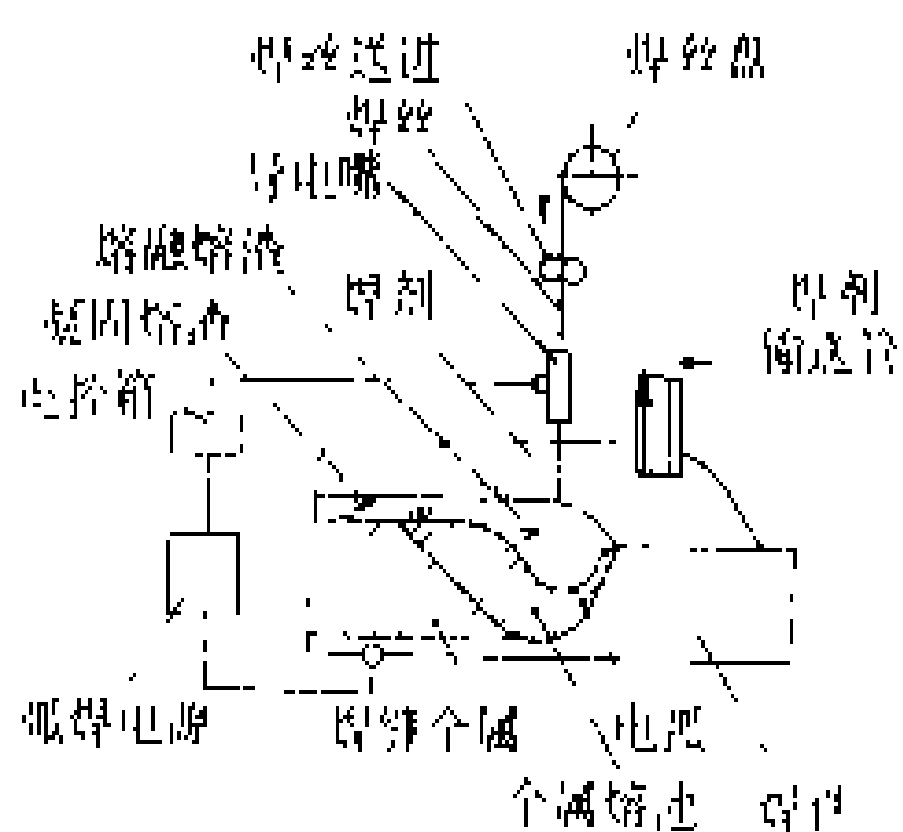
埋弧焊 (submerged arc welding) 利用在焊剂层下燃烧的电弧进行焊接的方法 (见电弧焊)。

埋弧焊可用于碳钢、低合金钢、耐热钢、不锈钢, 以及镍和镍合金等的焊接。特别适合于焊接这些材料的中、厚板材的直线、环形或形状规则的接缝。由于焊接电流高达 600~2000 A, 因此焊接生产率高。因熔渣隔绝空气的保护效果好, 同时焊接参数可通过自动调节保持稳定, 因此, 焊缝内部缺陷少, 机械性能优良, 外表光滑美观, 焊接时无弧光辐射和金属飞溅, 烟尘较少, 操作者劳动强度较轻。

埋弧焊依靠焊剂堆积形成保护条件, 因此主要用于平焊位置或角焊缝的横焊位置。

埋弧焊在短接缝、小直径环缝以及处于狭窄位置的焊缝的应用受到一定限制。另外, 因所用焊剂的成分主要是金属及非金属氧化物, 难以用来焊接铝、钛等氧化性强的金属及其合金。

工作原理 如图所示, 在焊接过程中, 由焊丝与焊件之间产生的电弧加热焊丝、焊剂和焊件, 由陆续送入的焊丝提供填充金属。焊剂熔化后产生的熔渣覆盖在电弧和液态金属上, 起保护、净化熔池、稳定电弧和渗入合金的作用。焊剂和熔融金属之间发生的冶金反应对焊缝



埋弧焊示意图

金属的化学成分和性能产生重要影响。为获得性能符合要求的焊缝, 应正确选配焊剂和焊丝。

采用多根焊丝或带状电极, 或对焊丝进行预热或向熔池送进冷或热的焊丝, 向焊缝中填加金属粉末等特殊形式的埋弧焊, 可起到提高生产效率或控制焊接质量的作用。

设备 埋弧焊有自动焊机和半自动焊机两种, 自动埋弧焊设备主要由弧焊电源、控制箱、送丝机构、焊

机行走机构和焊剂输送机构等部分组成。弧焊电源一般应具有陡降外特性。可用交流或直流, 采用稳弧性差的焊剂或对焊接工艺参数稳定性有较高要求时, 宜用直流电源。用细焊丝焊薄板时, 宜用直流平特性电源。

半自动埋弧焊机与自动埋弧焊机相似, 有送丝机构和焊剂输送机构, 但焊枪由人工操纵。

历史 埋弧焊是在美国 P. 诺布尔 (P. Nobel) 所发明的利用电弧机的基础上, 于 1930 年首先在美国问世。自动埋弧焊是在工业中最早得到应用的机械化焊接方法, 在造船、化工容器、锅炉、桥梁、起重机械, 以及石油和冶金等设备制造业中应用广泛。一般说来, 如果某个焊件适宜于采用埋弧焊, 则从与焊接成本有关的诸因素, 如焊接速度、材料消耗、设备费用和可靠性等考虑, 埋弧焊常是最便宜的一种焊接方法。

参考书目

姜煥中. 电弧焊及渣焊. 北京: 机械工业出版社, 1988

(杜 坤)

maihulu

埋弧炉 (submerged arc furnace) 电极埋在炉料中的电弧炉, 又叫电阻电弧炉、电弧电阻炉, 其中用于还原矿石的又叫矿热炉, 低炉身还原炉。

埋弧炉的特点是炉料呈颗粒或粉末状, 工作时电极埋在炉料内部加热。加热炉料的热能一部分来自电极与炉料间的电弧热 (见电弧加热), 一部分来自电流流经炉料所产生的电阻热 (见电阻加热)。这是一类耗电量大的电弧炉。

埋弧炉主要用来从焦炭还原矿石, 生产铁合金 (主要是锰铁、硅铁、铬铁、镍铁)、金属硅、冰铜、电石、黄磷等, 在电力充足的国家, 如挪威, 还用来生产生铁。

分类 埋弧炉通常按用途分类, 其规格大小按所配用的电炉变压器的容量表示, 小则几百, 大的可近十万千伏安。各类埋弧炉的炉名、所用原料、产品名称、反应温度和电耗如表所示。埋弧炉的电耗随原料成分、炉子容量而有很大差异。通常炉子容量愈大, 电耗愈低。

设备 埋弧炉的结构型式很多, 使用面最广的铁合金炉的成套埋弧炉设备由炉体、电极系统、供电系统、加料装置、出料装置、控制系统、除尘装置等部分组成, 如图所示。

炉体 多数埋弧炉的炉体呈圆筒形或圆锥形; 少数炉子如大型锰铁炉、冰铜炉的炉体呈长方形; 也有呈方形或椭圆形的。炉体多数有钢板外壳, 内侧有用耐火砖和 (或) 碳砖砌成的炉衬。炉体按产品种类和容量大小有固定和旋转两种型式。多数炉子的炉体是固定的,

埋弧炉类别和各类炉简况

类 别			主 要 原 料	产 品	反应温度 (℃)	电 耗 (kW·h/t)
铁 合 金 炉	硅铁炉	45%硅	硅石、废铁、焦炭	硅 铁	1550~1700	2100~5500
		75%硅				8000~20000
	锰铁炉	锰矿石、废铁、焦炭、石灰	锰 铁	1300~1400	1500~4000	
	铬铁炉	铬矿石、硅石、焦炭	铬 铁	1600~1750	3200~6000	
	钨铁炉	钨精矿石、焦炭	钨 铁	2400~2900	3000~5000	
	硅铬炉	铬铁、硅石、焦炭	硅铬合金	1600~1750	3500~6500	
	硅锰炉	锰矿石、硅石、废铁、焦炭	硅锰合金	1350~1400	3500~6000	
	硅钙炉	硅石、石灰、焦炭	硅钙合金	~1600	9000~17000	
炼铁电炉			铁矿石、焦炭	生 铁	1500~1600	1800~2500
金属硅炉			硅石、石油、焦炭	金属硅	1550~1700	13000~17000
冰 铜 炉			铜矿石、焦炭	冰 铜	1500~1550	700~800
电 石 炉			生石灰、焦炭	电 石	2000~2300	2900~3600
碳化硼炉			氧化硼、焦炭	碳化硼	1800~2500	~20000
电熔刚玉炉			铝土矿石、焦炭	电熔刚玉	1600~1950	1400~3000
黄 磷 炉			磷钙石或磷灰石、硅石、焦炭	磷	1450~1500	10000~17000
磷 肥 炉			磷矿石、铁合金渣、蛇纹石	磷 肥	1400~1450	—
氰 盐 炉			氰氯化钙、氯化钠	氰盐混料	1400~1500	~900

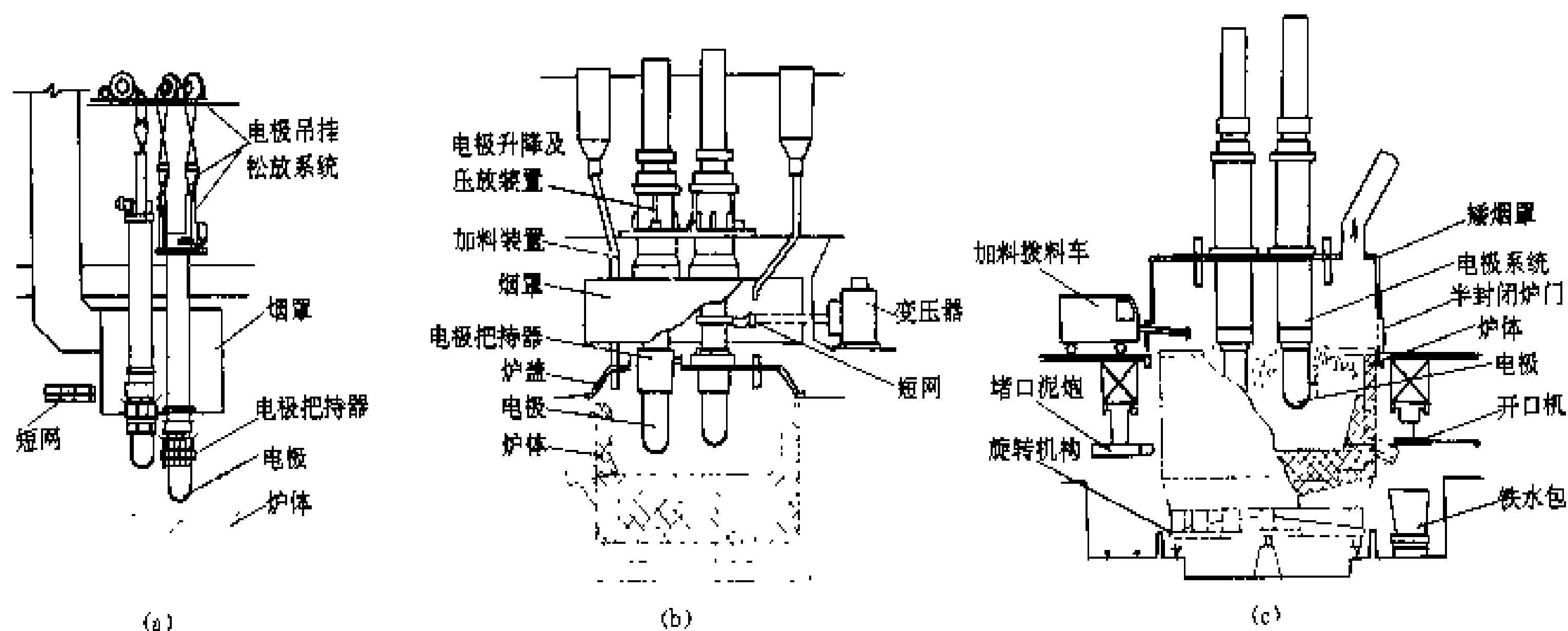
见图 (a)、(b)；某些大型铁合金炉，如硅铁炉，常采用炉体回转或来回转动的结构以消除炉料的搭挂、减少炉料结壳、扩大反应区和有利于炉气的排出，见图 (c)。转速约每周 30~180 h。炉顶有敞口、封闭和半封闭三种型式。早期的埋弧炉是敞口式的，见图 (a)。由于矿石还原会产生大量的一氧化碳等气体，随着环境保护要求的提高和余热利用技术的进步，对不同用途的埋弧炉分别采用了封闭式[见图 (b)]，或矮烟罩

炉大部分是三相，个别小容量的也有单相，并用两根电极构成电流回路。直流埋弧炉通常只用一根电极，而在炉底埋设导电材料（即底电极）以构成电流回路。埋弧炉工作电压低（一般为 150~300 V）、电流大（几千到十几万安培），交流炉由电炉变压器供电。直流炉则是由包括整流变压器等在内的大功率整流装置供电，供电系统的输出电压可调。对于交流炉，为提高炉子的功率因数、减小线路损耗，应尽可能减小大电流线路的

半封闭式的炉顶 [见图 (c)]。半封闭式炉在烟罩下设有可调节开启度的炉门以调节吸入的空气量和烟气温度。

电极系统 埋弧炉所用电极多数为自熔电极，即依靠炉子本身热能熔烧成的电极，也有用碳素电极和石墨电极的（见电弧炉电极）。对圆形炉体，三相电极呈三角形对称地布置在炉膛内；对矩形或椭圆形炉体，电极一般布置在一条直线上。为了弥补炉内电极的消耗，自熔电极配有电极松放或压放装置；为调节电炉的输入功率和电流，电极配有升降调节器（见电弧炉电极自动调节器）。

供电系统 埋弧炉多数由工频交流供电，少数也有用直流供电的。交流



几种埋弧炉示意图

(a) 敞口固定式；(b) 封闭固定式；(c) 半封闭旋转式



电阻和电抗，特别是电抗，并力求三相平衡。为此，三相交流埋弧炉的大电流线路通常在电极上接成三角形接线(见短网)。三相埋弧炉可由一台三相变压器供电，但大容量者也常由三台单相变压器供电。在后一情况下，对圆形炉体的炉子，三台变压器对称地布置在炉子周围，设备占地面积虽较大，但有利于减小线路阻抗和三相阻抗不平衡度，对炉子的运行有利。

加料和出料装置 埋弧炉从炉顶加料。除少数小型炉由人工加料外，多数都采用机械加料。敞口式炉多间断加料；封闭和半封闭式炉则连续加料。现代大型埋弧炉的加料装置配有原料破碎、粒度分级、干燥、预热、预还原等原料预处理设施。

用埋弧炉冶炼得到的制成品多数呈液态出料。在冶炼过程中料液沉积在炉底上。炉底适当高度上设有平时用堵口泥封住的出料口。每隔2~6h用开口机打通出料口出料。少数制成品，如钨铁，呈固态出料。炉子容量一般不超过1000kV·A。冶炼结束后拆去炉墙取出料块。有的制成品呈气态出料，如黄磷，用管道收集产品。

控制系统 用于原料自动计量输送、炉内气压、电极自动移送、输入功率等的控制和调节。埋弧炉的输入功率由电弧炉电极自动调节器调节。由于工作电流变化小，炉况平稳，采用较简单的系统就可得到满意的调节效果。

除尘装置 封闭式炉中平均每吨产品产生500~1000N·m³炉气，含粉尘为20~100g/(N·m³)。敞口式炉由于反应气体在炉口燃烧形成高温吸入周围大量空气，炉气量增大60~100倍。炉气用排烟罩排除。对敞口式炉用布袋或静电除尘器除尘；封闭式炉则主要采用湿式除尘法除尘。

历史和发展 19世纪90年代初，法国的H. 穆瓦桑(Henri Moissan)对不易用化学方法还原的金属氧化物利用电弧加热进行了系统的还原试验。法国的P. L. T. 埃鲁(Paul Louis Toussaint Héroult)把穆瓦桑的设想应用到工业上，在1894年首先研制成工业生产用电石炉。在1890~1910年间，法、美、德等国在埋弧炉的开发方面做了大量工作，许多种用途的炉子在这期间相继问世。20世纪50年代以前，炉子容量从几百kV·A到1万kV·A左右。这以后逐渐向大型化发展。70年代新建铁合金炉一般为20000~40000kV·A，最大的封闭式电炉达75000kV·A，半封闭式的达96000kV·A。供电、加料、控制、除尘等设施的技术水平相应提高，电子计算机开始得到应用。80年代起直流埋弧炉得到发展，预计直流供电和电子计算机控制将得到更普遍的应用。

中国于1958年开始设计、制造埋弧炉，80年代起

从国外进口了一些炉子，使中国自行设计、制造的水平相应提高。中国已有40000kV·A电石炉、25000kV·A锰铁炉、50000kV·A硅铁炉、31500kV·A硅锰合金炉、16500kV·A冰铜炉、8000kV·A镍铁炉、6300kV·A金属硅炉等产品，正向着提高生产率、节能降耗、减少环境污染等方向发展。

参考书目

G. Volkert 等编，铁合金冶金学，俞辉等译，上海：上海科技出版社，1978

(邓廷佐 蒋聪吉)

maofangzhi gongye yongdian

毛纺织工业用电 (electrical energy utilization of wool fabric industry)

毛纺织工业是把毛型纤维加工成纱线，并用纯纺或混纺毛纱织制成毛织物、毛毯等的工业部门。毛型纤维包括以羊毛为主的纯毛，以及山羊绒、兔毛、马海毛、牦牛毛等特种动物毛。毛纺过程也可用毛型化纤纯纺、混纺以及毛与其他天然纤维混纺。

毛纺织工业生产工艺包括毛条、粗纺、精纺，三个工序。粗纺生产工艺流程见图1。毛条和精纺工艺流程分纺织和染整两部分，分别见图2、图3。

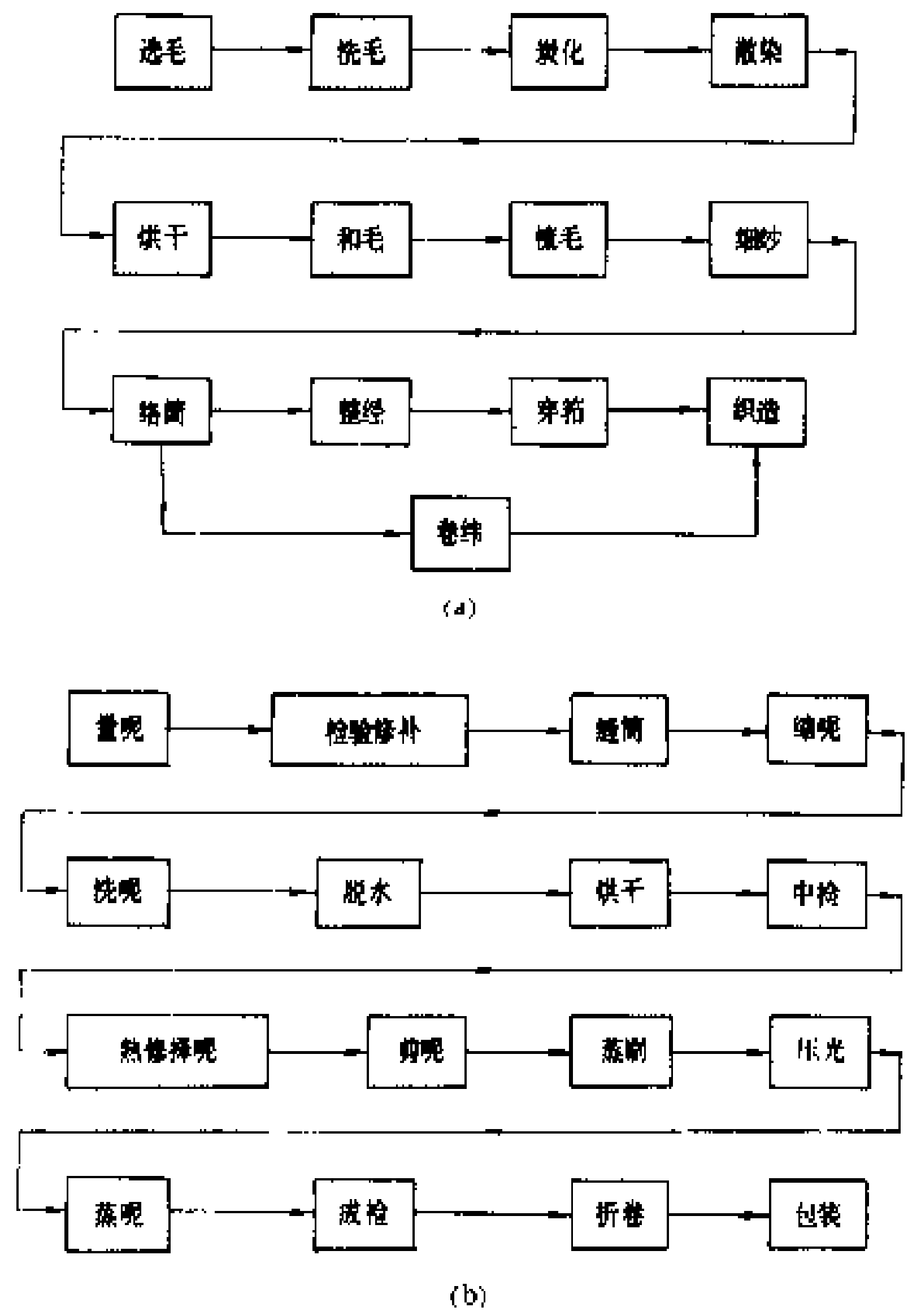


图1 粗纺工艺流程

(a) 纺织工艺流程；(b) 染整工艺流程

毛纺织工业的用电特点与棉纺织工业用电基本相同。典型用电容量为：毛条厂年产1800t定额用电

用电 4920 kW。

(陈金镜)

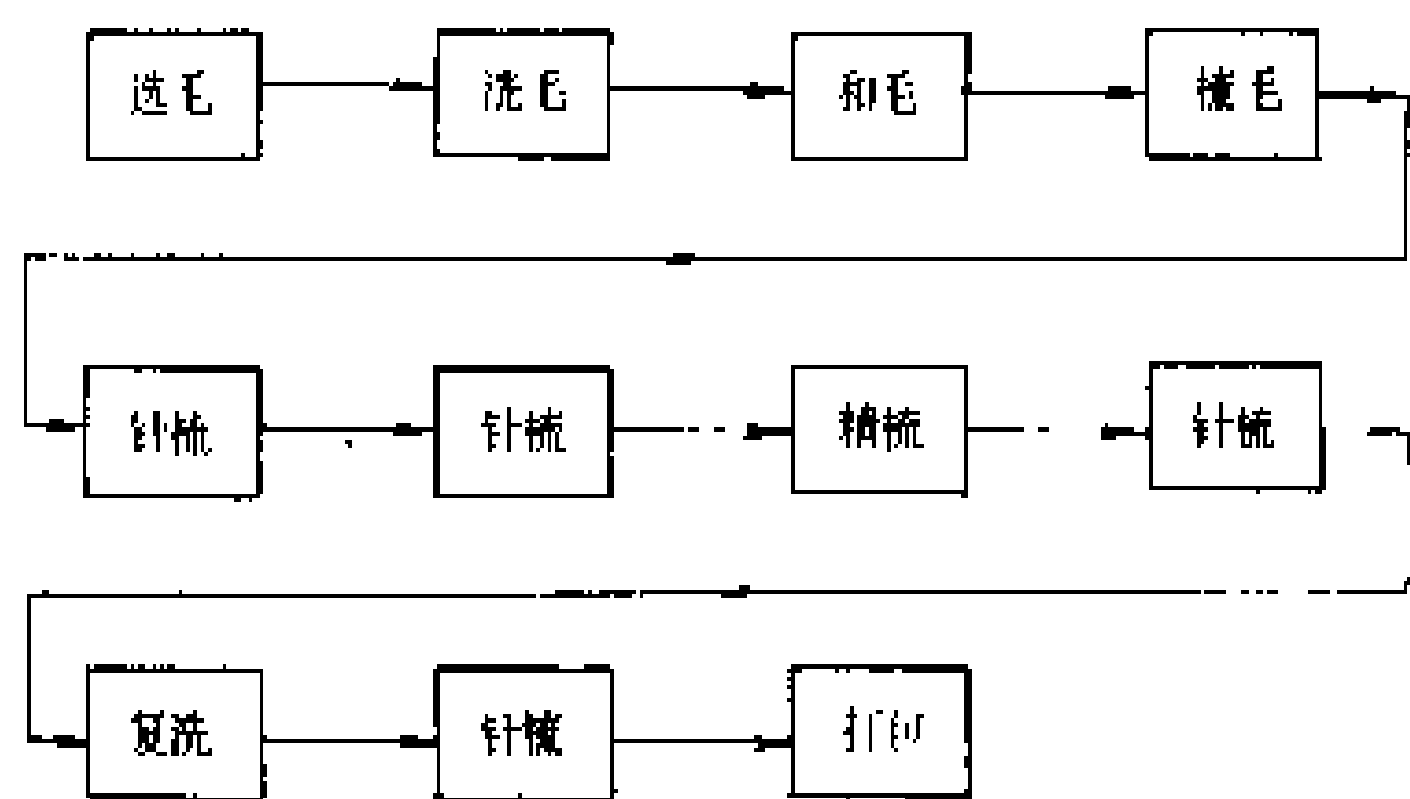
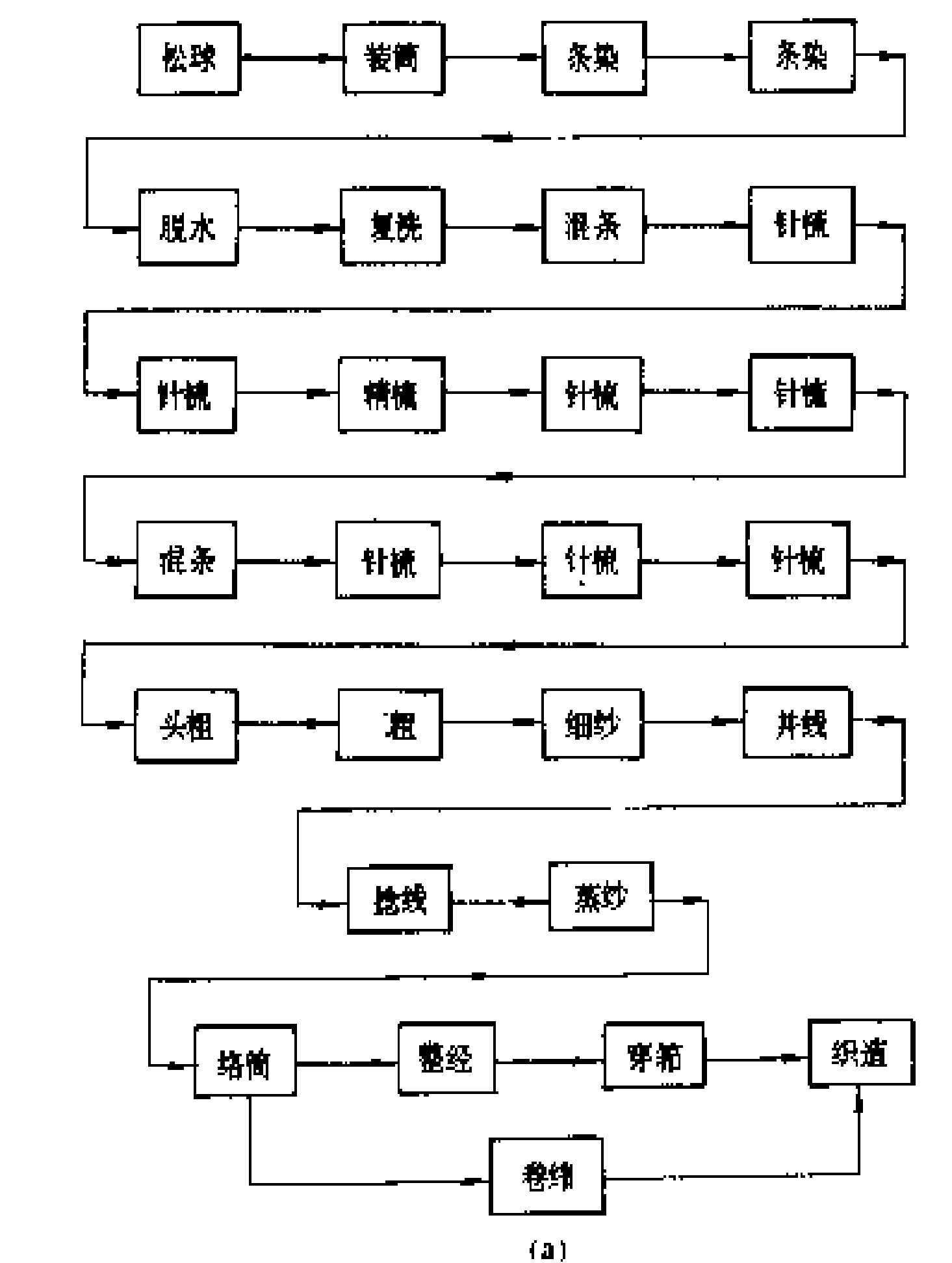
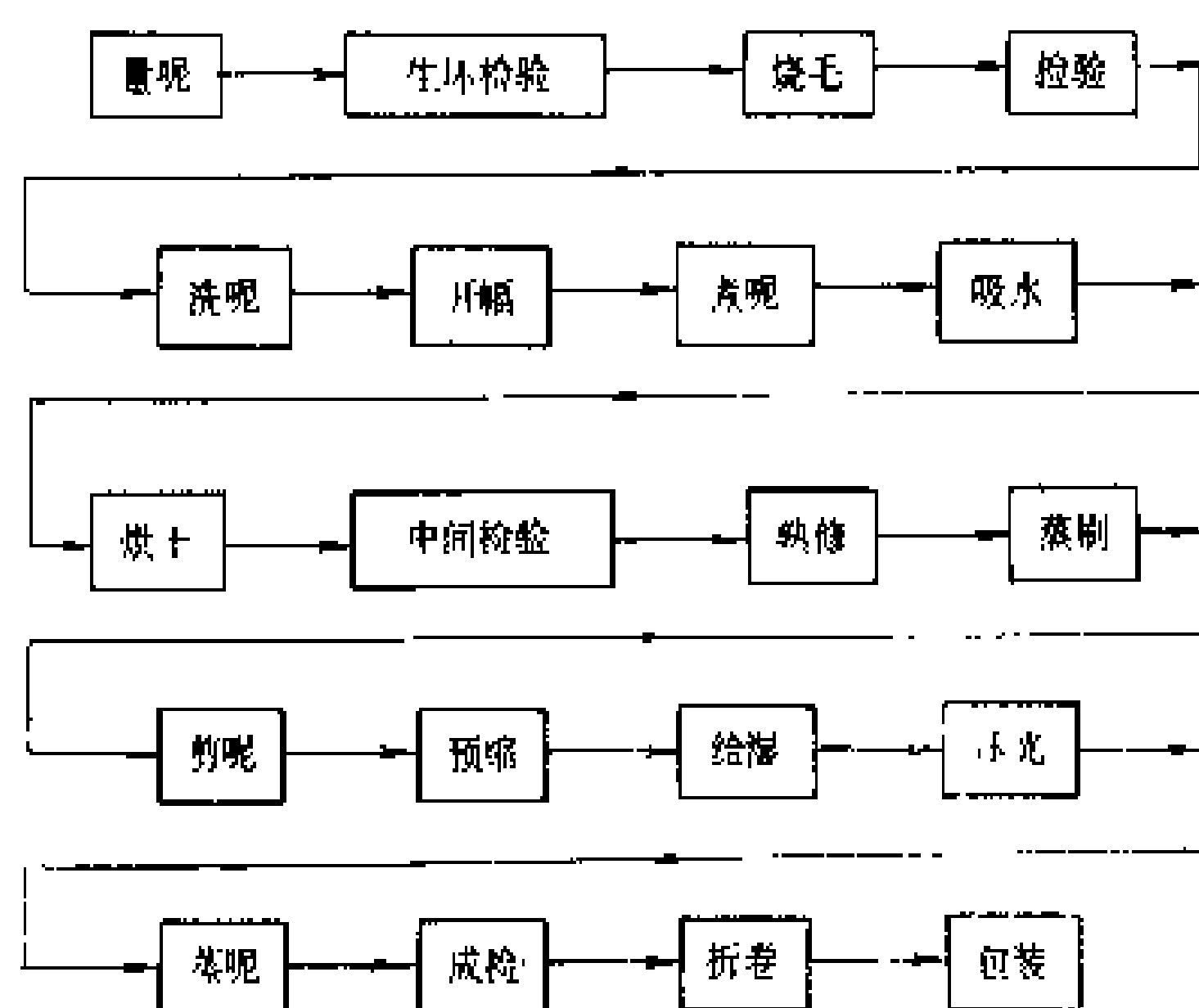


图2 毛条生产工艺流程



(a)



(b)

图3 精纺工艺流程

(a) 纺织工艺流程；(b) 染整工艺流程

1530 kW，年产 3000 t，定额用电 2300 kW；粗纺厂 1000 锭定额用电 1710 kW，2000 锭定额用电 2530 kW；精纺厂 5000 锭定额用电 2900 kW，10000 锭定额

meiton gongye yongdian

煤炭工业用电 (electrical energy utilization of coal industry)

煤炭工业包括煤炭开采和洗选。煤炭开采用电包括落煤、井下运输、提升、排水、通风压气、照明几部分直接生产用电。落煤用电随回采工艺(机械化程度)不同而不同，其中炮采最少，综采最高；井下运输用电随巷道延伸而增加，也与运输方式有关，皮带运输用电较少，刮板运输用电较高；提升用电几乎随煤层埋藏深度成比例增加；排水、通风用电除与埋藏深度有关外，更与涌水量、瓦斯浓度有直接关系。对露天开采来说则无通风用电，排水用电也很少，其用电量与剥采比(采煤量与剥离量之比)及运输装置是否用电关系很大。因此，煤炭直接开采的用电构成、吨煤电耗均因矿井自然条件而异。

煤炭井下开采要求供电可靠性高。矿井通风机、排水泵和经常运送人员的提升机等用电负荷应不间断供电。一旦供电中断将造成人员伤亡、设备损坏、矿井生产长时间才能恢复等严重后果。煤炭工业用电具有对电气设备有特殊要求、井下电压等级随用电量增加不断提高，负荷率较低、自然功率因数较低等特点。

主要生产工艺 煤炭开采分为露天开采、地下开采与地下气化三种。

露天开采 在矿藏区先剥离地而表土，再剥离岩石，形成敞露的采煤坑，然后一面剥离扩宽，一面采煤的开采方式。露天开采主要用于开采埋藏不深的煤炭。露天开采的剥离及回采工艺过程，包括穿孔、装炸药、爆破、采、装、运输(配合电机车、内燃机车或蒸汽机车铁道运输或大型电动轮卡车及汽车运输)的间断式生产工艺；有的采用大功率单斗电铲(17 m³)或轮斗电铲采、装，配合皮带运输机的连续式生产工艺。中国已建成的露天煤矿主要采用间断式生产工艺。

地下开采 从地表面向下开采出一系列巷道，通过煤层之后，再把煤炭开采出来。地下开采有竖井、斜井、平硐三种方式。若煤的埋藏量很大，埋的很深，多用竖井开采；若煤主要埋在山下，又不很深，多用斜井开采；若煤主要埋在上山，多用平硐开采。

地下开采先凿井(竖井、斜井或平硐)，再开大巷，开到适当长度时，开出一个回采工作面的开切眼，安装好采煤机电设备后，再进行落煤、装煤、运煤及支护等顶板管理组成的回采工艺。回采出来的一般煤炭经皮带运输机装入电机车运输至井底车场，再装入罐笼提升机或箕斗提升机提升至地面选矸楼，选去矸石后入煤仓，等火车外运。开采出来的如果是炼焦煤，经选

矸再转运至选煤厂,经过水洗或重介质浮选出精煤入精煤仓。回采工艺分为炮采和机采。机采又分为普通机采、高档机采、综采和水采四种。综采的机械化程度最高、最安全,现正大力推广。

炮采是打眼、装炸药、填泥、放炮落煤等回采工艺的简称。具体回采工艺过程是机器打眼,人工装炸药与填泥,用发炮机引火放炮落煤,人工或机械法装煤和工作面刮板输送机运煤。工作面推进一个进尺循环后,用人工移设刮板输送机,再在移设刮板输送机腾出的空地上用木支柱、木棚子或者单体金属支柱支护顶板以防垮落。工作面推进到一定进尺循环时,还要回收远离工作面采空区的部分支柱,用垮落法落顶或水砂充填法来护理回收支柱后的空间;以减小工作面的压力。炮采是比较落后的开采工艺。

普通机采的落煤、装煤和运煤等回采工序采用各种一般的截煤机或刨煤机落煤、装煤,辅以部分人工装煤,工作面运煤采用可以随工作面作小量弯曲的刮板输送机,支护采用各种单体金属支柱。

高档机采的主要特征是使用单体液压金属支柱、金属顶梁、截煤机、运输机。机械设备更完善,效率更高。

综采是综合机械化采煤的简称。回采工作面的落煤、装煤、运煤、支护等顶板管理工序全部实现机械化。综采工作面主要设备包括滚筒式采煤机或刨煤机,可弯曲刮板输送机,自移式金属液压支架,靠控制乳化液的压力来移动工作面设备。

水采是用高压水射流击碎煤炭,借助水力运输、水力提升将煤炭运至地面后,再进行脱水的一种采煤工艺。这种采煤工艺的初期投资低于综采,对地质构造的适应力强,最大缺点是回采率低,最多只能采出60%~74%的煤。苏联的水力采煤较发达。中国在1958年搞过一个时期水力采煤,至今只有极少数几个煤矿坚持采用水采工艺。

地下气化 煤炭的地下气化一直处于试验阶段。50年代中国在几个煤矿进行过研究试验。主要开采方法是从地面向煤层钻出两个孔,再将两孔串通,从一孔鼓入适当比例的空气、氧气、水蒸气,在煤中点火,使煤变成CO气体,从另一孔抽出供地面作为燃料之用。其最大优点是省去了大量采掘、装、运工艺和设备,缺点是开采设备、工艺不过关,气化效率低,离地面近了,漏进空气多了,使CO多变成CO₂,不能再燃烧。

用电特点 主要体现在对电气设备有特殊要求、井下电压等级逐渐升高、负荷率较低、自然功率因数较低几个方面。

对电气设备有特殊要求 井下生产环境差、空间小,有灰尘、潮湿气,碰、压、碰、挤等机械破坏力在

所难免;多数煤矿煤中都含易爆炸的沼气(CH₄,又叫瓦斯),因此井下电气设备都要选用防爆型或矿用一般型电气设备。露天煤矿的电气设备因受风、霜、雨、雪、酷热、严寒的气候以及滑坡、塌陷等事故的威胁,要求其绝缘既能耐高温又能耐低温,既坚固又便于移动。

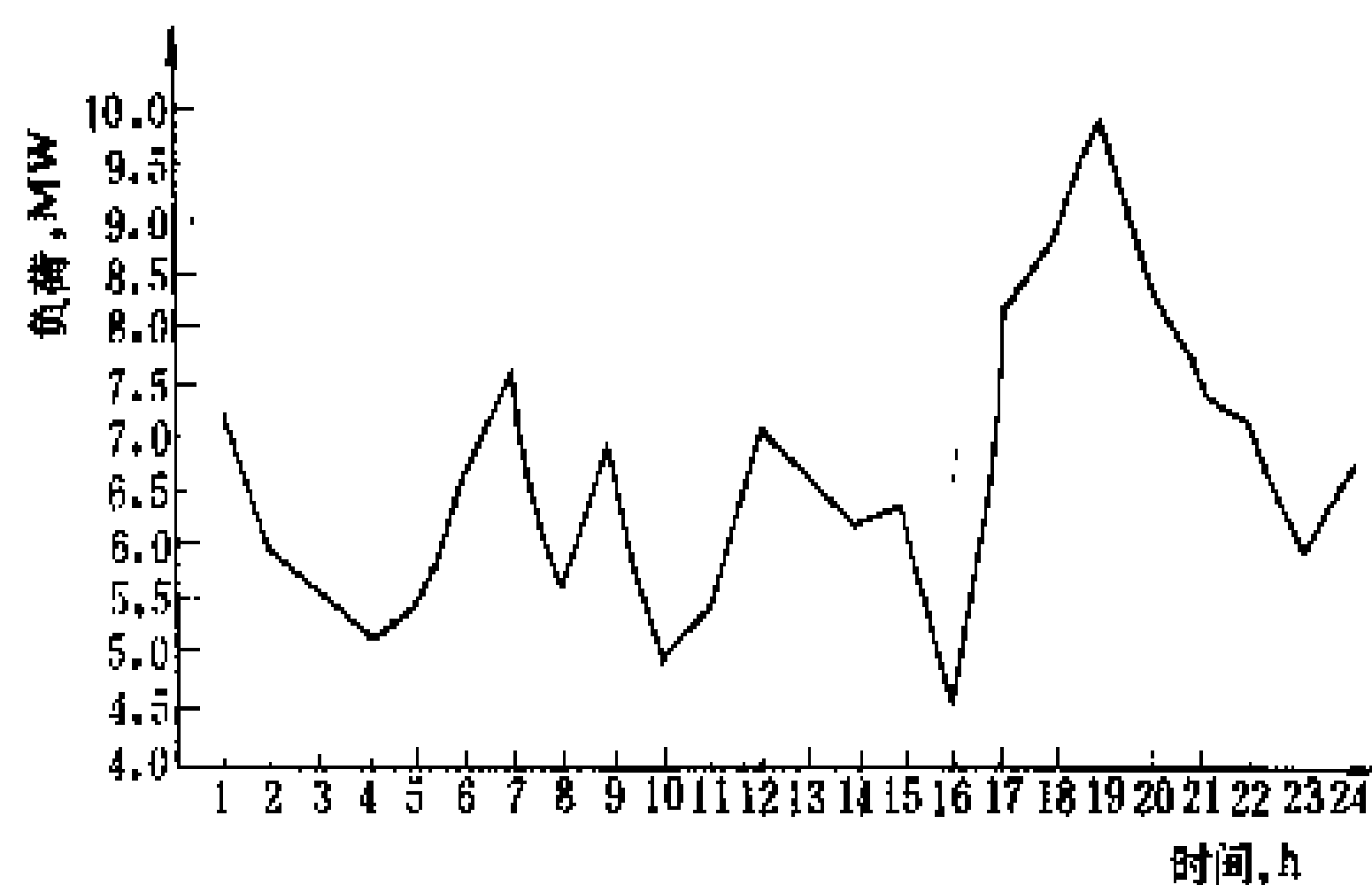
由于中性点直接接地系统单相接地电流很大,容易引起瓦斯爆炸,所以中国于1986年规定井下配电变压器中性点不得直接接地,同时不得由设在地面上的中性点直接接地的变压器或发电机直接向井下供电。

矿井漏电保护装置的动作电阻值和动作时限都比地面的要求高。矿井井下保护接地网的总接地电阻,要求不超过2Ω,比地面相同供电系统接地网接地电阻为4Ω的要求高。

井下电压等级逐渐升高 为保证经济供电和电压质量,矿井采区电压随井下用电量增加而提高。如中国50年代井下采用的电压等级为380V,60年代为660V,70年代提高到1140V,现对日产万吨煤的高产高效综采工作面,开始试用3300V电压。

负荷率较低 煤矿日负荷曲线与矿井生产条件、作业班制、机械化程度及通风、压气、排水、提升负荷量有关,一般矿井采用三班作业制,也有四班作业制的,其中一个班停产维修,负荷率一般为70%~80%。改变维修班时间,错开排水开泵时间,错开不同采区的作业时间,可以调整负荷以提高平均负荷率。

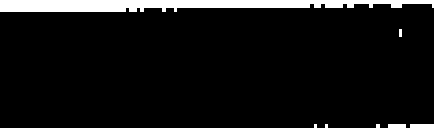
图示为中国某煤矿的典型日负荷曲线,负荷率为70%。



某煤矿日负荷曲线

自然功率因数较低 由于煤矿用电多为感性负荷,自然功率因数一般低于0.8,需在6kV母线上接入适当容量的静电电容器,以提高用电功率因数。

对供电的要求 煤矿的一级用电负荷主要包括矿井的通风机、井下的排水泵和经常运送人员的提升机等用电负荷;二级用电负荷主要包括煤炭集中提升、运输设备,地面的空气压缩机,井筒内的防冻设备,抽放沼气设备等用电负荷以及向综采工作面供电的采区变电所、露天煤矿和选煤厂等的用电负荷;其他一、二级



负荷以外的用电负荷为三级用电负荷（见用电负荷分级）。矿井的保安负荷是防止水淹矿井、井下瓦斯爆炸的设备的用电负荷和发生事故时井下人员迅速撤离现场的设备的用电负荷。对保安负荷必须采取安全技术措施不间断供电，一旦供电中断，将造成大量人员伤亡，设备损坏，后果严重。

（喻纯新）

meidianjie

镁电解（magnesium electrolysis）利用熔盐电解提取金属镁的冶金过程。炼镁的原料主要有菱镁矿、海水或盐湖的卤水和光卤石，均需先制或氯化镁，然后进行熔盐电解提取金属镁。与铝电解一样，镁电解也是高温操作，并消耗大量电能的工业。

原理 以氯化镁为原料，加入氯化钾、氯化钠、氯化钙、氯化钡的三元或四元混合物作为电解镁的电解质，加入电解槽内，通直流电熔融为熔体。电解过程中

阴、阳极析出反应为



阴极上析出的液态镁，因其比重比电解质的比重小，因而浮于电解质表面，阳极上析出的氯气则经氯气罩排出。

氯化镁的熔点高、易挥发、电导率低、极易水解，因此必需采用多组分电解质电解。加入添加剂为的是改善电解质熔体的熔度、密度、粘度、表面张力和电导率等。

镁电解体系 以阳极、电解质、阴极、直流电源等组成的镁电解体系主要是以镁电解槽和直流电源的形式体现的。镁工业采用两种类型的电解槽，即有隔板和无隔板电解槽。按导电方式又分为上部插入阳极和下部插入阳极电解槽。镁电解槽的主要类型有：埃奇型上插阳极有隔板电解槽、道屋型无隔板电解槽、阿尔肯型无隔板电解槽、阴极双面工作无隔板电解槽。世界上镁工业多采用生产能力高和电能消耗低的无隔板电解槽。各种类型的镁电解槽的技术指标见下表。

镁电解槽的技术指标

槽 型	原 料	熔融温度 (℃)	槽 电 压 (V)	电 流 强 度 (kA)	电 流 效 率 (%)	直 流 电 耗 (kW·h/kg)
埃奇型上插阳极有隔板电解槽	无水氯化镁 无水光卤石	680~720	5.5~7.0	150	80~85	15~18
道屋型无隔板电解槽	含水氯化镁	700~720	6.0	90	80	16.5
阿尔肯型无隔板电解槽	无水氯化镁	670~685	5.7~6.0	80	90~95	14.0
阴极双面工作无隔板电解槽	熔融氯化镁光卤石	—	4.6~4.8	105~150	78~85	12.8~13.5

现代镁生产的电解系列中一般串联安装 70~100 台电解槽。各种镁电解槽的结构分别见图 1~图 4。

直流电源多采用大功率硅半导体整流器。镁电解工艺要求有连续、稳定、可靠的电源，停电将导致电解槽中电解质的冻结并破坏电解槽内衬的严重事故。

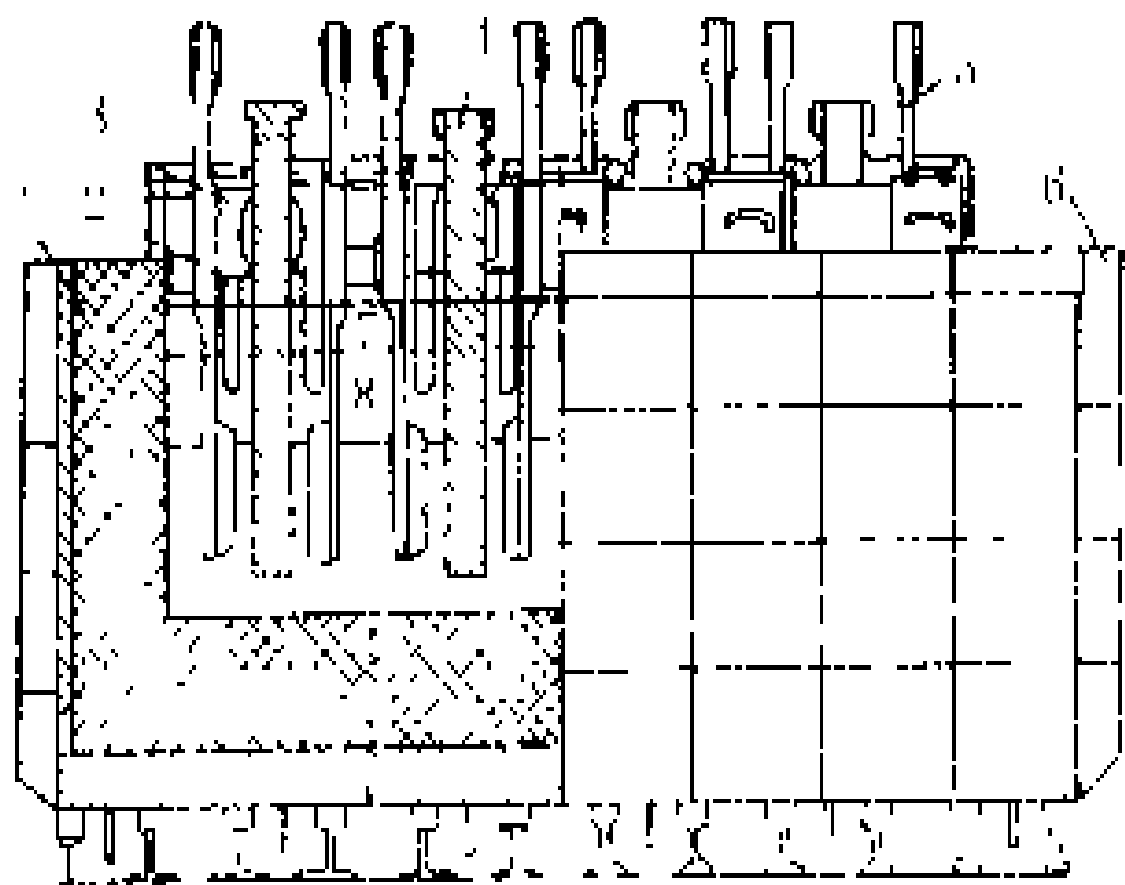


图 1 埃奇型上插阳极有隔板镁电解槽

1—槽衬；2—隔板；3—氯气罩；4—阳极；5—阴极；
6—钢外壳；7，8—电解质最高和最低水平

节能措施 镁电解工业为高耗能工业，降低电能损耗始终是电解镁工业的重要课题。降低槽温、加强电解槽保温、改进槽型和提高整流、传输电能效率等是

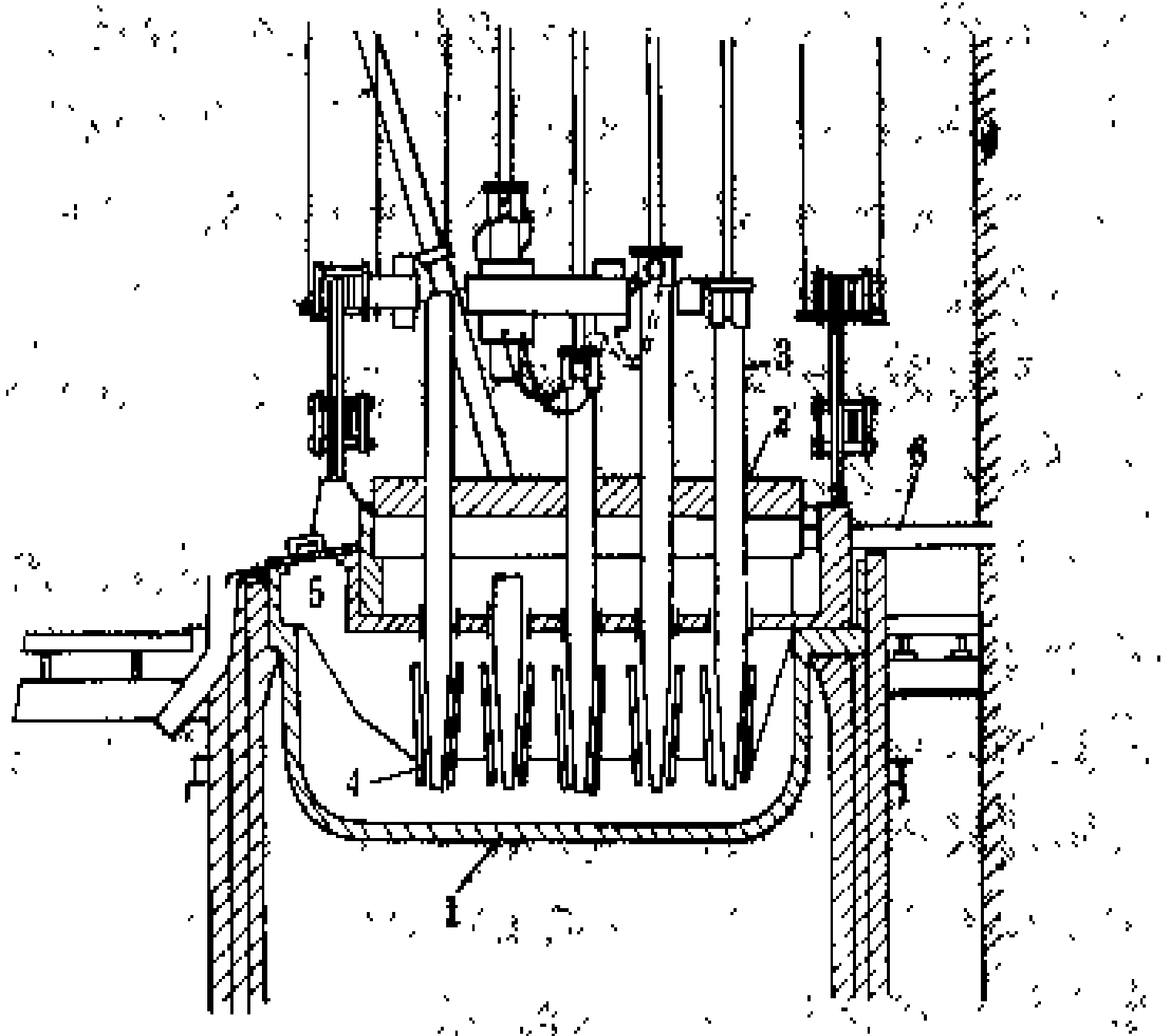


图 2 道屋型无隔板镁电解槽

1—钢槽；2—陶瓷板；3—阳极；4—阴极；5—出镁口；
6—排气口

降低能耗的重要途径。

发展简史 1808 年最先从氯化镁中分离出镁。1830 年，英国 M. 法拉第（Michael Faraday）首先用电解法熔融氯化镁提取金属镁。1860 年以后，开始用

化学方法生产镁。直到 1886 年, 美国 H. Y. 卡斯特纳 (Hamilton Young Castner) 首先用电解熔融无水光卤

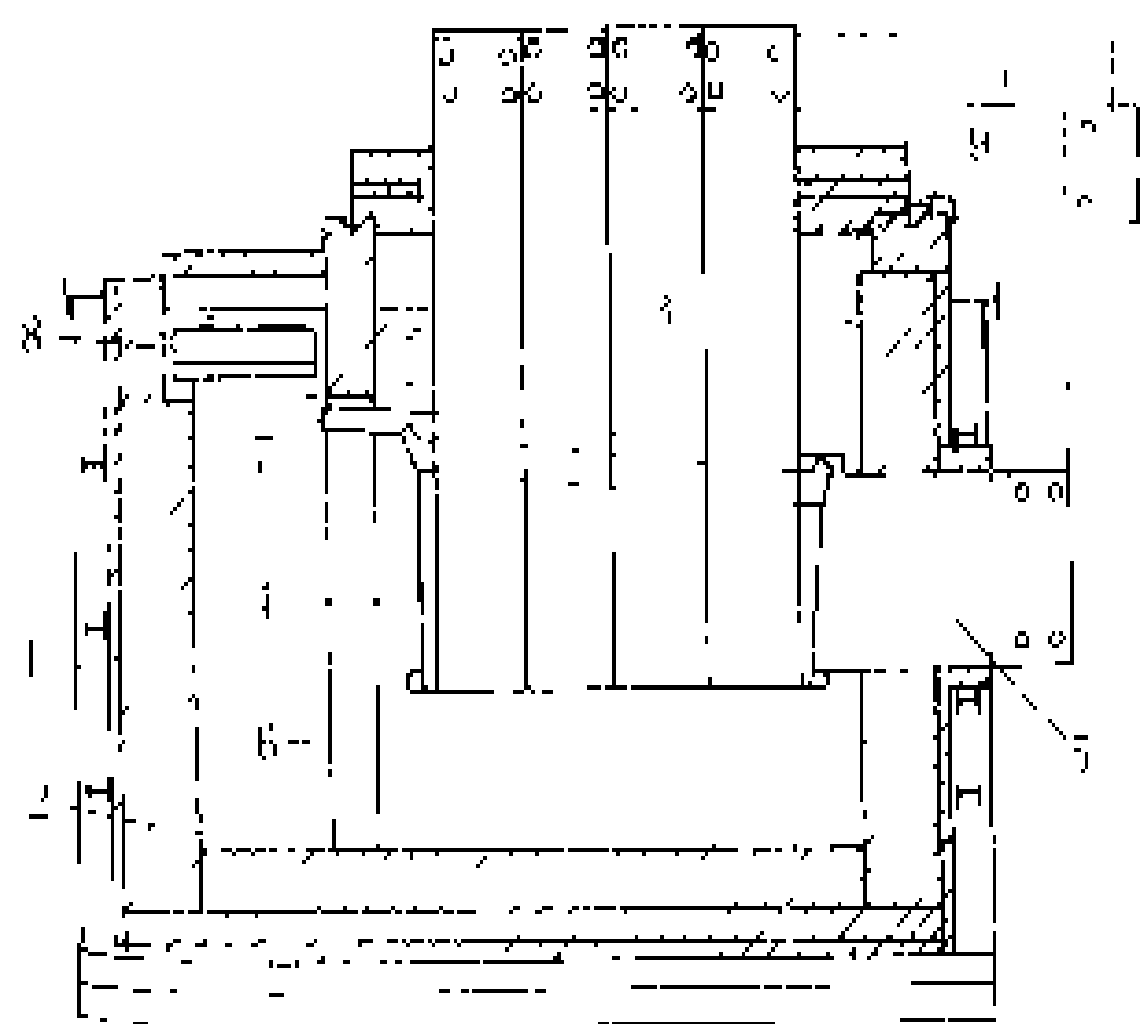


图 3 阿尔肯型镁电解槽

1—钢外壳；2—内衬；3—阳极；4—阴极；5—导电板；
6—隔墙；7—导镁槽；8—集镁室；9—氯气排出口

石法进行工业性生产镁。1909 年, 镁基合金的发明对镁生产的发展产生了重大的影响。第二次大战期间, 除

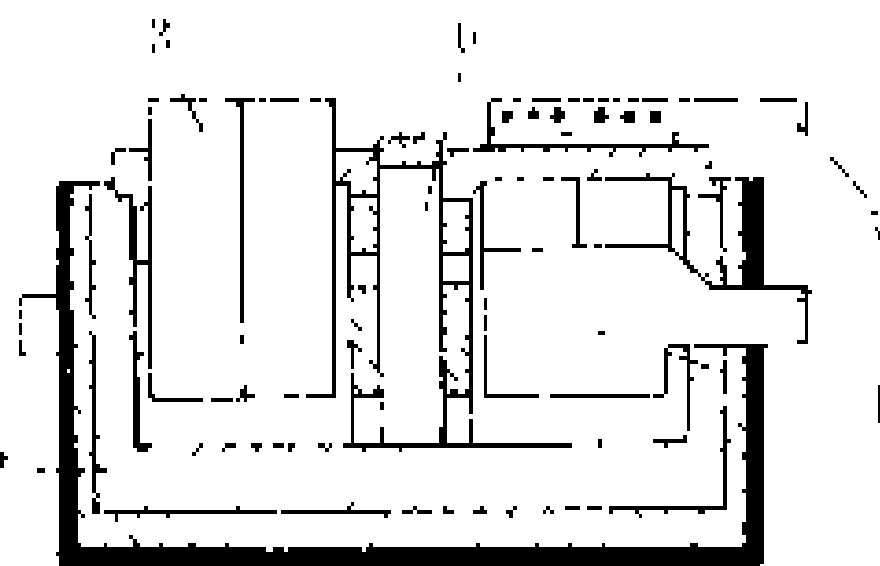


图 4 阴板双面工作无隔板镁电解槽

1—钢外壳；2—内衬；3—阳极；4—阴极；5—阴极导电板；6—集镁室

密封性和降低电能消耗。

参考书目

韩巍等译. 电解法制镁. 北京: 冶金工业出版社,

1981

(刘天齐 杨志万)

miantangzhi gongye yongdian

棉纺织工业用电 (electrical energy utilization of cotton fabric industry)

棉纺织工业是把棉型纤维加工成棉纱或棉线, 并将棉型纱线织成各种织物的工业部门。棉型纱线包括纯棉、棉型化学纤维和棉纤维与化纤混纺的纱线。

棉纺织工业生产过程连续, 一般是三班连续生产, 用电负荷均衡且稳定; 纺织厂是同类多机台同时进行生产的企业, 虽然机台电动机容量小, 但台数多, 因此用电负荷很大, 一般每万纱锭的用电负荷约 500 kW (含辅助生产用电), 每百台布机的用电负荷约 100 kW; 纺织厂的各生产车间要求一定的温度和湿度, 因此装有空调, 空调用电量最高的可达全厂用电负荷的

40%; 纺织厂纺部车间飞花多, 粉尘较大, 除尘设备和除尘室照明有防火防爆要求。

生产工艺流程 棉纺织工业生产工艺包括棉纱生产工艺和棉纺生产工艺。

棉纱生产工艺流程 棉纺的原料是经轧花厂轧过的原棉。原棉纺成棉纱的工艺流程见图 1。

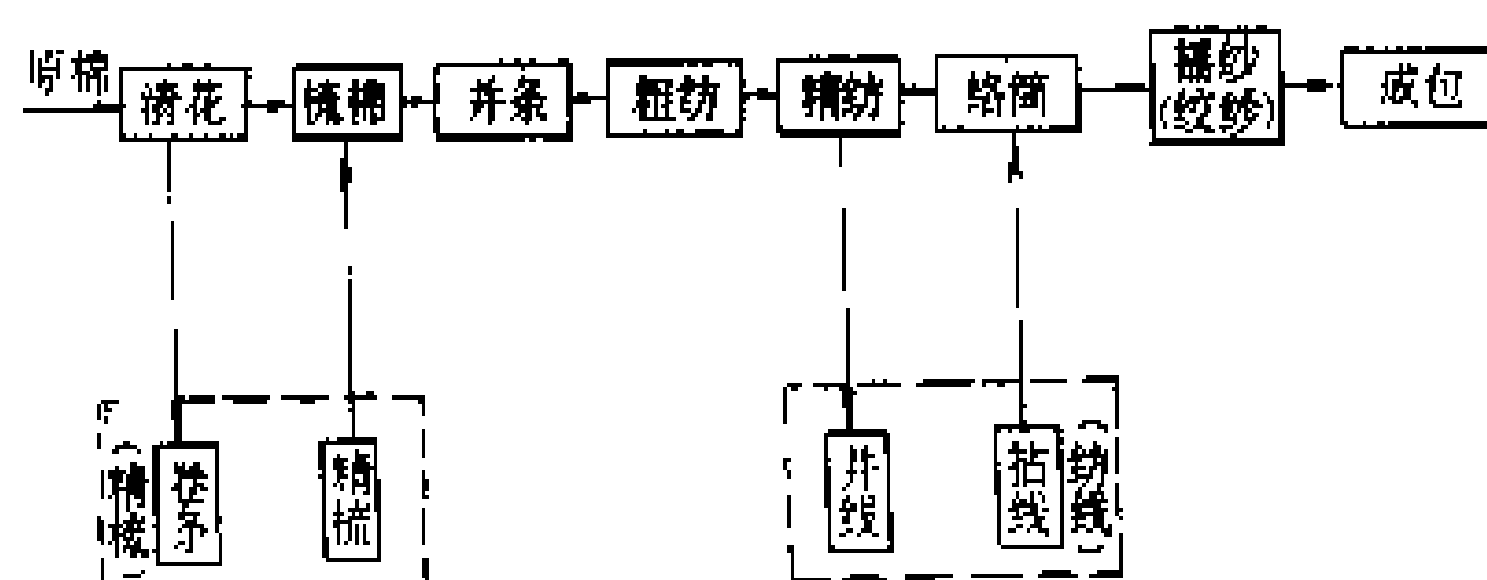


图 1 棉纱生产工艺流程

(1) 清花(清棉)。轧花厂出厂的原棉紧压成包, 且带有杂质, 所以纺纱的第一步必须将原棉开松和清除杂质, 然后再把它做成一定长度和一定重量的棉卷。这道工序叫“开清棉”, 简称清花或清棉。清花工序由一整套互相联系的机械来完成。一套开清棉机组纺中支普通棉纱, 一般用电负荷为 23~26 kW。开清棉机排出的含尘空气需要经过滤尘处理, 滤尘用电约为清棉主机用电的 20% 左右。

(2) 梳棉。清花后的原棉仍有许多小棉块和小棉束, 所以还要进行梳理, 使它尽量分解成单纤维, 并进一步清除细小的杂质和对纺纱不利的短纤维, 以制成单位长度较轻的棉条。这道工序称梳棉, 完成这道工序的机器称梳棉机。其吸尘用电约为梳棉机电的 25%。

(3) 并条。为使棉纱重量均匀, 往往要将 6 根或 8 根棉条经过 2~3 次的并合(称“二道并条”或“三道并条”), 所用的机器称并条机。一般棉纱都是二道并条, 只有化纤和棉混纺采用三道并条。并条机的用电负荷一般为 1 kW, 吸风机用电负荷约 0.3 kW。

(4) 粗纺(粗纱)。为使棉纱达到所需的细度, 纺纱的各道工艺过程都有把半成品拉长拉细的作用, 叫牵伸。从棉条到细纱一般都先牵伸成绒线一样粗细的粗纱, 这道工序叫粗纺或粗纱, 使用的机器叫粗纺机或粗纱机。一般的粗纱都用单程粗纺机, 其平均用电负荷约 2 kW 左右。与精纺一样, 粗纺也用锭子纺纱。

(5) 精纺(细纱)。把粗纱进一步牵伸, 并且加上一定的捻度(棉花要纺成细纱, 必须加捻, 2.54 cm 纱线内的加捻量称捻度。纱支越细加捻越多。而棉纱用电与捻度成正比), 纺成一定轻重和粗细(称“支数”, 公制叫“号数”)的细纱。这道工序叫精纺或叫细纱。使用的机器叫精纺机或细纱机。

棉纺生产的工艺流程 棉纱织成棉布生产工艺流程见图 2。

(1) 络纱(络筒)。络纱是把纱厂来的管纱或管线退绕在锥形筒子(俗称宝塔筒子)上,成为筒纱或筒线。络纱是在络筒机上进行的。

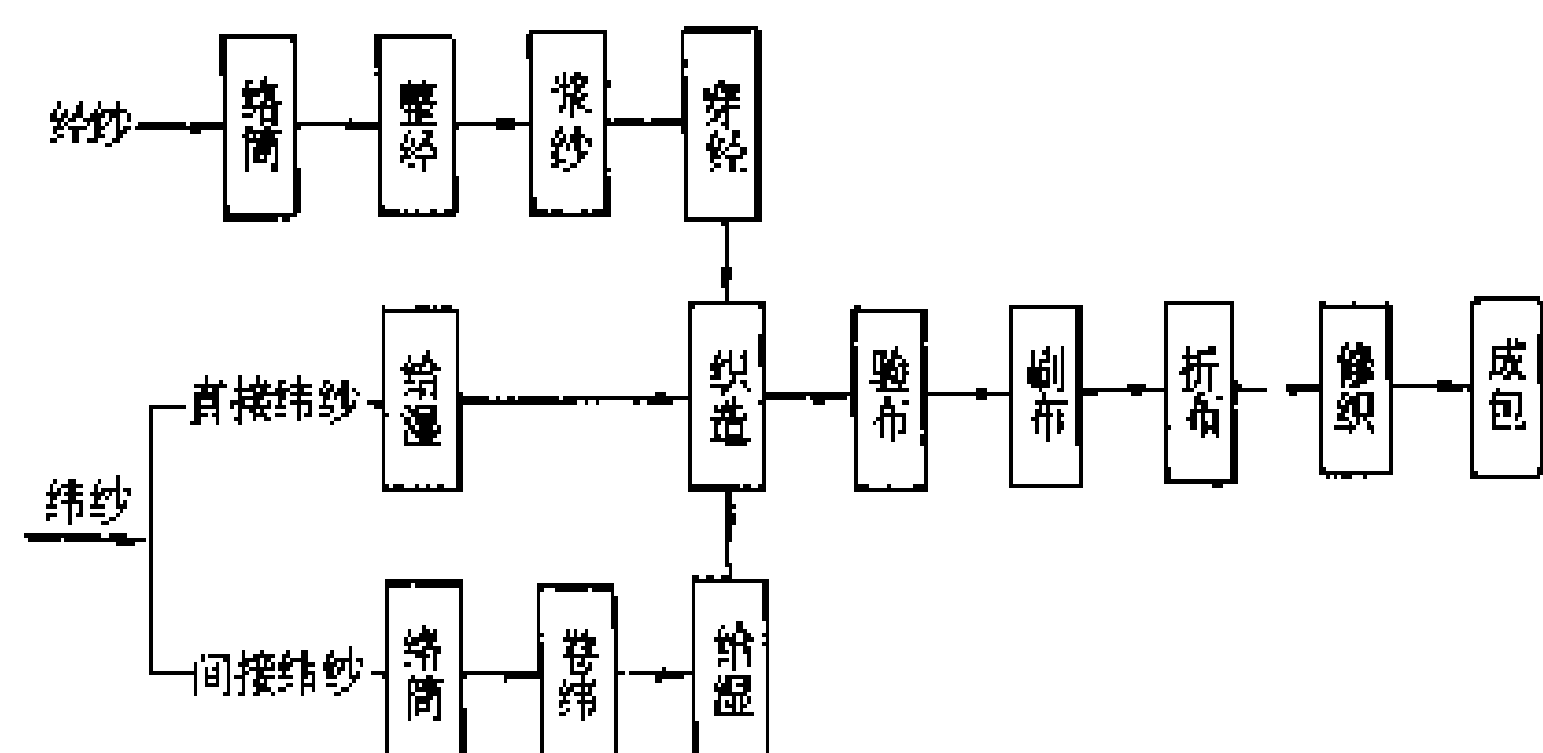


图 2 棉布生产工艺流程

(2) 整经。织物总的经纱一般为 2000~4000 根,如果要一次牵引卷绕成如此多根经纱的轴,在设备与工艺上都存在困难,因此在实际生产中,把总经纱根数分为数份,每份 350~500 根,分别整理成经轴(然后再用 5~10 个经轴在浆纱机或并轴机上合并)。将筒纱合并成经轴的过程称为整经。经整经后,要求经纱排列整齐,张力均匀,接头良好,整经长度符合规定。

(3) 浆纱。通过整经工程,已制成根数为 400~500 根的经轴,但要符合织物总经数千根的要求,还需要将整个经轴加以合并。同时,为了降低织机断头,提高织机单产,减少织疵,单纱织物还要上浆。浆纱是经纱在织造前准备工作最关键的一环。浆液由浆泵、浆管输入到浆纱机的浆槽内。

(4) 穿经。穿经是将浆纱机落下来的织轴,按照一定的顺序穿过织机上的停经片、综丝和钢筘,以便按照织物组织形成梭口,让纬纱通过,织出需要的织物。穿经大体可分为手工穿经与机械穿经两种方法。

(5) 纬纱准备。纬纱准备分以下两个工序:①卷纬。在纺织联合企业中,纬纱有时由精纺机落下的管纱直接供应给织机。但如用纬线,或在单织厂,则需经过卷纬工序,把管线或纱卷成可以纳入梭子的纬管。卷纬机有碗形卷纬机、自动卷纬机、卧式卷纬机等。②给湿。给湿的目的是增加纬纱的回潮率,以稳定纬纱的捻度,增加管纱上各纱层间的附着力,改善纱的柔软程度和增加纱通过梭眼的摩擦系数,加大纬纱退绕张力,能有效地防止织造中产生的纬缩和脱纬。

(6) 织造。织造的任务是把一定形式卷装的织轴和纬纱,在织机上按照织物组织的要求,制成一定结构的织物——棉布。织造的产量与织机的转速有关,而经济转速又与所用织机、布的幅宽、纬密等有关。

(7) 整理。整理是织部的最后一道工序,它不仅要保证出厂成品质量符合国家标准,而且还应正确反映出以前各道工序的质量情况,找出质量关键,并按规定

进行开剪和整修,提高棉布入库一等品率。整理工序的具体任务有以下几项:①验布。按标准规定,把布匹上的疵点逐一检查出来,称为验布。验布在验布机上进行。②折布。验布机下来的布,以 1 m 为折幅,整齐地折叠成匹,以便计算产量和打包入库。③分等。根据验布检验评分色线,累计每匹总分数,按标准定出该匹布的品等。④整修。对布匹上的一些外观疵点进行修理织补,对油污进行洗涤。⑤打包。凡作商品销售的布或运往外厂染整坯布,一律都要打包。打包机由成包台和油压泵两部分组成。打包机所用电动机的容量根据选用压力而定,一般为 10~15 kW。

用电特点 棉纺织工业用电具有用电负荷率高、用电单耗有差异、自然功率因数较低等特点。

用电负荷率高 纺织厂数量众多的机台,除极少数因轮流检修外其余全部开动,三班连续生产,日用电负荷率在 90%以上。

用电单耗有差异 纺纱织布消耗的电力是以机械代替人力,机械化、自动化程度决定用电单耗和劳动生产率的高低,技术先进国家机械化、自动化程度高于中国平均水平,因而用电单耗比中国的大。中国的用电单耗也随着机械化自动化水平的提高而逐年上升。

纺织产品品种很多,工艺参数与加工方法不尽相同,为了进行分析与比较,中国采取折合标准品计算单位产品(产值)耗电办法。棉纺织产品折合标准品计算单位产品耗电,以全厂生产用电为限,棉纱以 27.8 tex(21 英支)纯棉经纱为标准品、棉线以 27.8×2 tex(21/2 英支)的纯棉经线为标准品,棉布以经号 29 tex、纬号 29 tex、经密 236 根/10cm、纬密 236 根/10 cm、幅宽 96.5cm,总经根数 2292 根的纯棉市布为标准品。棉纱、棉线、棉布各工序折合标准品产量,分别按各种产品在各工序的实际产量乘以各产品各工序用电折合率之和计算。

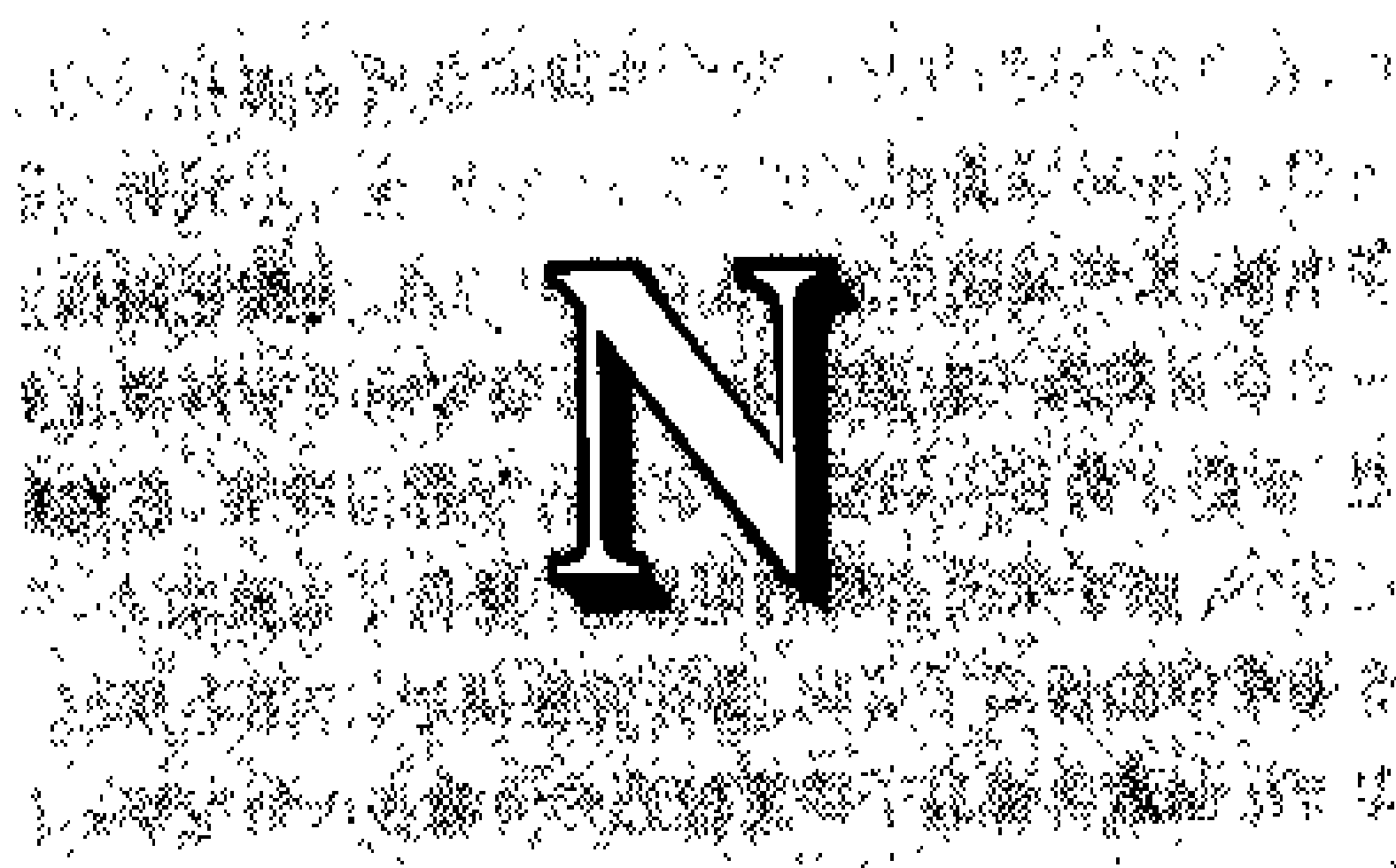
自 1983 年以来,中国棉纱(混合)和棉布(混合)单位产品耗电量如表所示。

中国棉纱和棉布单位产品耗电量

年份	棉纱耗电量 (kW·h/t)	棉布耗电量 (kW·h/万 m)
1983	1894	21.7
1984	1943	22.66
1985	1983	23.07
1986	1913.97	23.02
1987	1946	23.44
1988	1969	23.69
1989	2042.01	24.03
1990	2129.34	25.24

自然功率因数较低 用电负荷多为感应电动机,自然功率因数一般在 0.8 以下,一般采取在变压器低压侧接入电容器的集中补偿,将逐步推广就地进行电容器补偿,以提高功率因数。

(陈金镜 罗建旋)



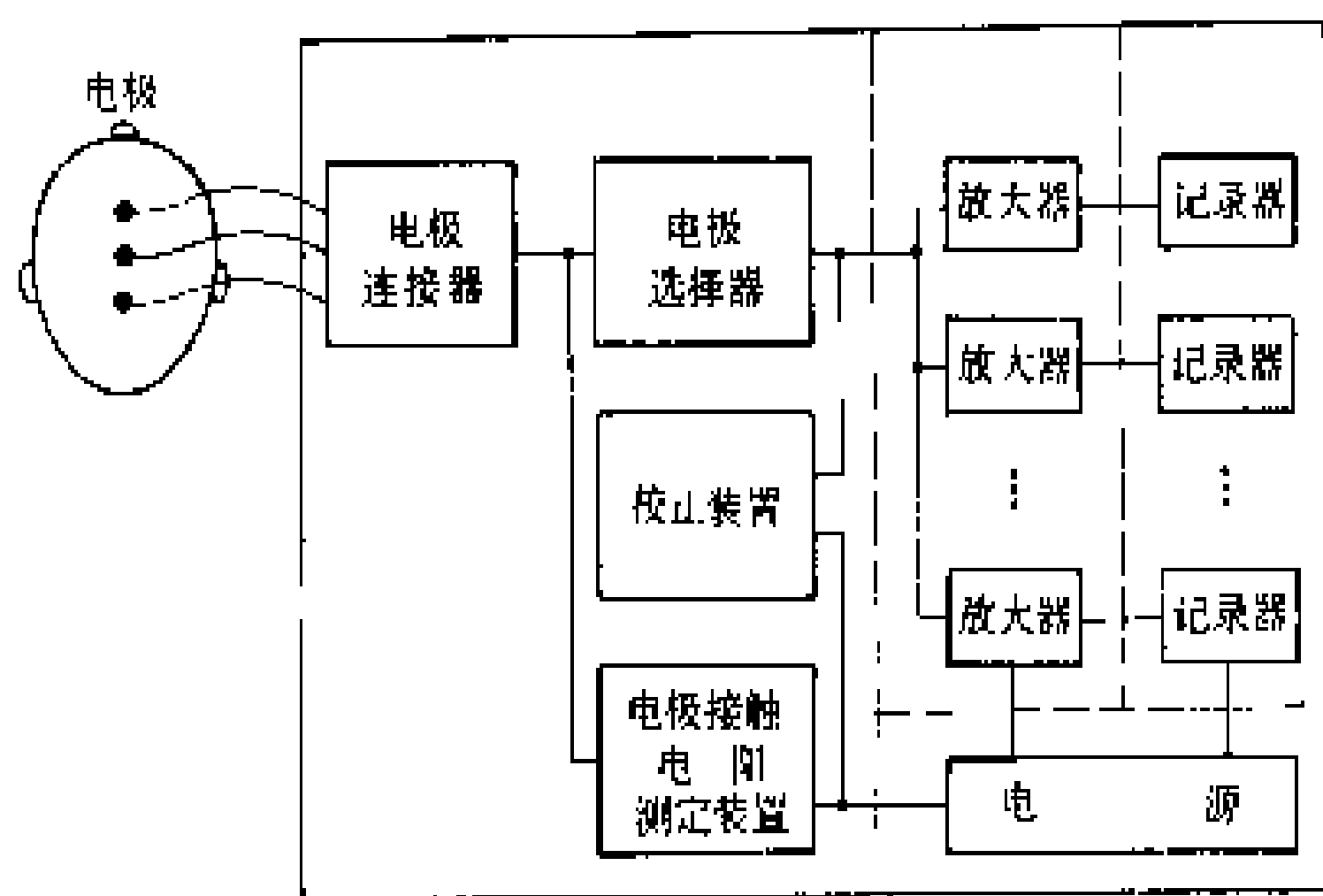
Na - liu xudianchi
钠-硫蓄电池 (Na - sodium accumulator) 见
蓄电池。

naodiantu jiluyi
脑电图记录仪 (electroencephalograph)

记录脑部电波的电子检测装置。这一装置所描绘的
频率不同的波形对应于脑部的不同工作状态,如睡眠、
激动等。从脑电波的波形、频率、连续性和不同电极信
号差别等,可获得有用的诊断信息。

脑电图记录仪主要由电极、输入部分、放大装置、
记录器和电源等几部分组成,其结构框图如下。

电极一般有圆片形和针状两种。圆片形电极直径约 7 mm 的氯化银和不锈钢圆板或杯状物,其周边
附有含电解质胶的凸缘,用以向头皮上固定。针状电极
则可直接刺入头皮内。电极用导线通过电极连接器与
装置相连。



脑电图记录仪结构框图

放大器分前置放大器和主放大器两部分。

记录装置用来将从主放大器输出的脑电波信号描
绘在记录纸上。

随着人们对脑电活动的生理意义的深入了解,脑
电信号在医学诊断中的价值也得到了更多的重视,如
在诊断中得到应用的脑诱发电图,不同于记录自发脑
电图的传统方式,而且通过声光刺激引起大脑反应,再
记录相应的脑电变化,这样可获得一些重要的诊断信

息。又如脑电地形图能将脑电活动以二维等高值图表
示出来,可直观地用于临床诊断。

(周 爽)

nihongdeng

霓虹灯 (neon tubing) 一种借助氖、氩、
汞、氪或氦氖混合气体等气体的正柱辉光放电而发光
的电光源,又称气体辉光放电灯。这种气体放电电光
源的电辉分离为正负两部分,中间是暗区(法拉第
区)。电辉色品与总强度取决于充填气体的种类。气
体压强、放电形式和放电管的几何参量。辉光最强部
分是正柱区,在一定条件下,用减小放电管极间距离的
方法,可以把放电的正柱电辉除去,而利用负辉部分。
因此,气体辉光放电灯可分为负辉气体发光灯和正柱
气体放电灯两类。这两类辉光放电灯的色品种气体种
类的关系如表所示:

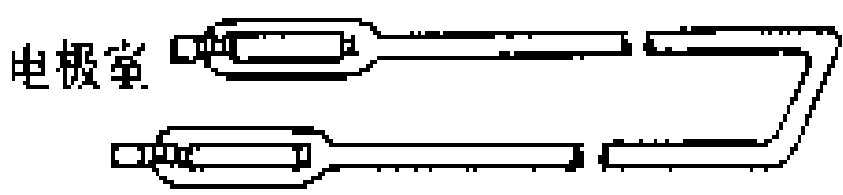
充气种类和辉光放电的色品关系表

气体种类	Ar	CO ₂	H	He	Hg	N ₂	Na	Ne
负辉光色品	蓝	蓝白	浅蓝	浅蓝绿	蓝绿	蓝	黄绿	红橙
正柱区色品	紫红	白	红	黄红	蓝绿	黄	黄	红黄

霓虹灯由直的或弯成任何形状的圆管组成,两端
各有一电极室,电极室中各有一个冷电极,其外形如图
所示。按填充气体的不同,霓虹灯可分为充氖气、氦气、
氦氖汞气的霓虹灯和正柱辉光放电光致发光霓虹灯四种。

(1) 充氖气霓虹灯。这种灯具有橙红色的色品,灯
管区按使用要求来确

定,在管长 2~6 m
时,管径才约在 10~
30 mm 之间。灯的
发光效率由管径大小、



霓虹灯外形图

电流密度和气体压强而定。研究表明,随着气体压强的
增加和电流的减小,发光效率有显著上升的趋势。所以
设计时,选择氖气的压强一般在 $2.66 \times 10^2 \sim 6.66 \times 10^2$ Pa,最高为 1.33×10^3 Pa,电流密度从 0.02~0.05
A/cm²,这时灯的发光效率平均为 9.5~10.5 lm/W。

(2) 充氦气的霓虹灯。它的色品为玫瑰黄或黄色,
由无色玻璃管做的充氖气霓虹灯为玫瑰黄色。要得到
纯黄色的正柱电辉,则要用带黄色的玻璃管,这种管一
般只能透过氦光谱的黄色部分。在同样条件(管径、气
体强度和电流密度)之下,充氦气的正柱电位陡度要比
充氖气的高,而发光效率则低 10%。

(3) 充氖、氪和汞的霓虹灯。它的色品呈蓝色和绿
色。在充氖和氪气的灯管内加入少量的液态汞时,其正
柱电辉具有蓝色色品,其色调随管子温度和充入气体
的压强而定。在这里,氖气或氪气中的汞的浅蓝色光

辉,是由于汞的特征线加强而使这些气体的光谱线强度减小所引起的。另一方面,因有氖或氩在灯管中,以至灯管上通电的最初瞬间比较容易促使放电的出现,这时灯管温度低,汞气的压强不大。充汞气的霓虹灯的电气与光度特性和充氖气的有所不同,主要反映在灯的正柱电位陡度及发光效率的减小上面。

当汞气压强很低时,汞光谱线中紫色和蓝色谱线较绿色和黄色谱线强,所以正柱电辉具有明显的蓝色色品;当汞气压强增加时,正柱电辉的色品转变为绿色,因为这时汞光谱线中的绿色和黄色谱线较紫色和蓝色谱线强。

(4) 正柱辉光放电光致发光霓虹灯。这种灯是在辉光放电管内的管壁涂上一层光致发光物质,如荧光粉等。当它吸收短波辐射后,激发出微光。对于暖色调,如橙红、玫瑰色和金色,填充氖气最佳;对于冷色调,如绿色和蓝色,则填充氖汞和氩汞混合气体为最佳。研究和使用的表明,这种霓虹灯的色品和发光效率都比前三种有显著的改善和提高。1984年10月1日,中国北京天安门两侧和周围建筑物上使用的霓虹灯就属于这一类。

霓虹灯和其他气体放电灯一样,需要使用专门的电气附件,即变压器来启动辉光放电和稳定正常的辉光放电。使用较多的是漏磁变压器,它的两次开路电压在15 kV以下,短路电流50 μA以下。

由于霓虹灯色品丰富多彩并可做成各种字、符或图案,所以在装饰照明、商业广告和光信号照明等诸方面得到广泛应用。

(肖辉乾)

nianyongdian zuida fuhe liyong xiaoshi

年用电最大负荷利用小时 (annual maximum load utilization hours) 用户或地区的年用电量与该用户或地区当年发生的最大负荷之比。年用电最大负荷利用小时为年实际用电量按最大负荷折算的等效用电小时数,其值应小于或等于8760 h,常用来预计最大负荷。计算方法为

$$T_{\max} = A / P_{\max}$$

式中 T_{\max} 为年用电最大负荷利用小时, h; A 为年用电量, kW · h; P_{\max} 为年用电负荷最大值, kW。

用户的年用电最大负荷利用小时与用户用电性质、用电持续时间、行业特点有关。地区的年用电最大负荷利用小时与该地区用电构成有关。

(郝士茹)

niandianjie

镍电解 (nickel electrolysis) 以硫酸镍和

氯化镍水溶液为电解液,电解提取或精炼镍的冶金过程。在电解镍时,为防止阳极溶解的杂质金属在阴极上析出,要用隔膜袋把阴极和阳极隔开,这种形式称为隔膜电解。采用隔膜电解是镍电解的特点。为防止阳极液中的杂质阳离子在阴极析出,需要对阳极液作净化处理,然后才能注入阴极室,这一过程称为净液。在电解过程中,由于杂质金属的电溶解,降低了电流效率,使电解液中的镍离子贫化。为补充镍离子,须用电解或其他方法制造含镍离子浓度较高的溶液加入到电解系统中去,此过程称为造液。

电解 镍电解的阳极可用硫化镍、粗镍或镍基合金废料铸成,阴极为电镍始极片,电解液多为硫酸镍和氯化镍混合的微酸性溶液。通直流电后,阴、阳极上发生如下电化学反应



在电解过程中,槽电压3~4 V,阴极电流密度180~250 A/m²,每吨电解镍消耗直流电能1600~4300 kW · h,交流电能2100~5600 kW · h。电解镍纯度可达99.99%。

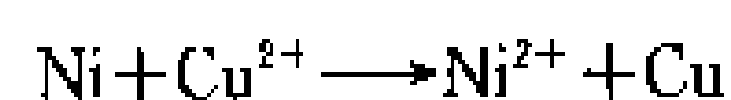
电解过程中,阳极所含铂族元素不溶解而富集于阳极泥中,可另行处理回收。

镍电解采用隔膜电解(见图)。在镍电解过程中,为要获得高纯度电解镍,必须使阴极液中铜、钴、铁的含量不超过每升几毫克,锌、铅等杂质的含量不得高于每升十分之几毫克。为防止阳极溶液的杂质金属在阴极上析出,将纯净的电解液注入阴极室,经隔膜渗入阳极室。杂质含量高的阳极电解液流出电解槽,经净化后再注入阴极室。阴极室的液面高出阳极室的液面50~100 mm,使阴极液渗透至阳极室的速度大于阳极液中杂质离子移向阴极的速度。实际作法是将隔膜袋张在框架上,将阴极悬挂在隔膜袋内,并保持袋内的液面高于阳极室的液面。

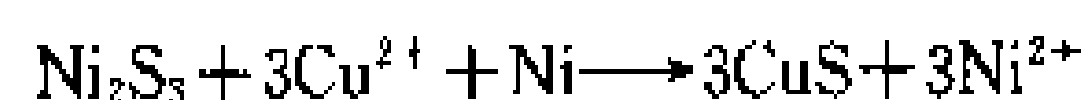
阳极电解液净化 简称净液。净液通常用化学方法进行,包括除铁,除铜,除钴,除铅、锌等。

除铁 将阳极液加温到70~80℃,鼓入空气,将Fe²⁺氧化成Fe³⁺,并加入中和剂将pH值调至3.5~4.2,使Fe³⁺水解成难溶的Fe(OH)₃而沉淀。

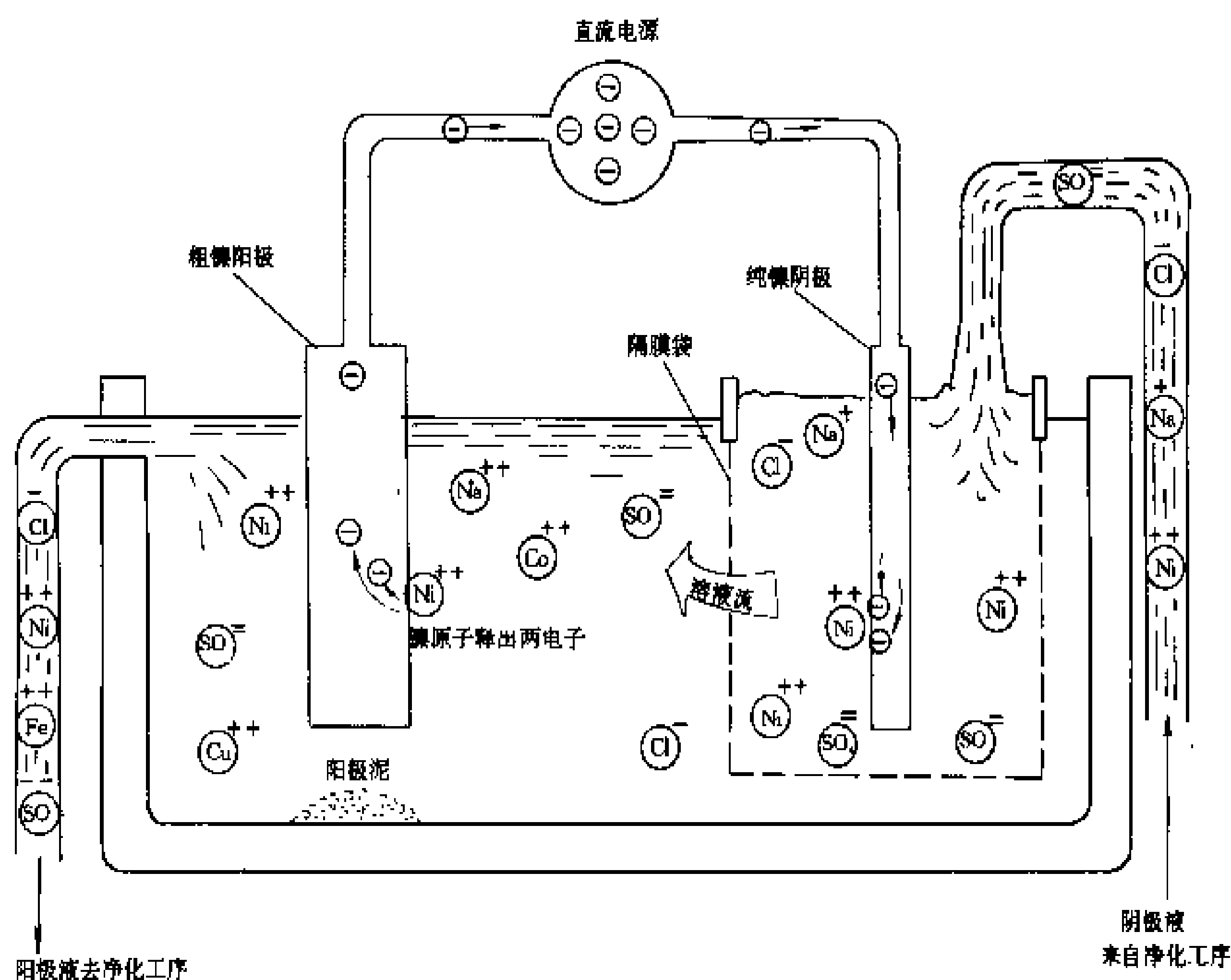
除铜 金属镍阳极电解时,常用镍粉置换法除铜,其反应式为



在硫化镍阳极电解中,可用硫化镍除铜,其化学反应为



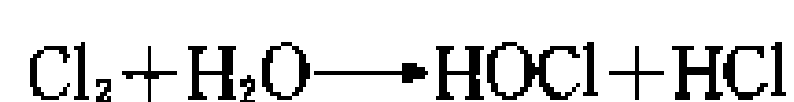
除铜作业是在流态化除铜槽或机械搅拌槽内进行,使固、液两相充分接触,保持溶液温度60~70℃,pH值



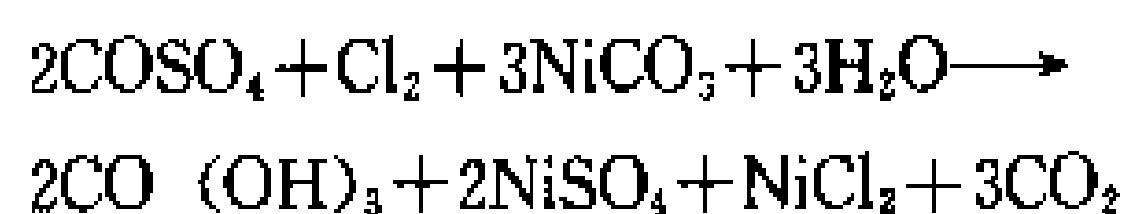
隔膜电解示意图

2~2.5。除铜后液经过滤，送往除钴。

除钴 通常采用氯气除钴法。向溶液中通氯气，氯和溶液中的水反应式为



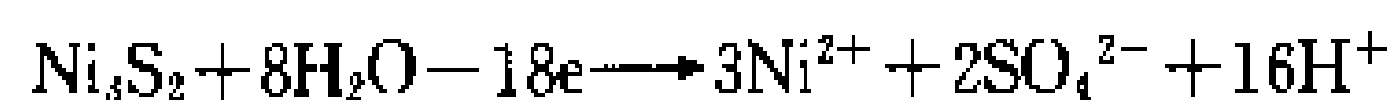
HOCl 是强氧化剂，迅速将 CO^{2+} 氧化成 CO^{3+} ，再用碳酸镍中和生成的 HCl， CO^{3+} 按以下总反应式水解沉淀



溶液中的镍离子也可按上式氧化水解，因此，钴渣中含镍较高，在处理钴渣回收钴时，将镍返回到流程中去。

除铅、锌 除钴后将溶液的 pH 值调高到 5.5~5.8，通空气搅拌，使锌和铜的硫化物水解成氢氧化物而沉淀。同时，将有大量的 Ni^{2+} 被氧化水解成 $\text{Ni}(\text{OH})_3$ ，能吸附 Pb^{2+} 共同沉淀。

造液 目的是为电解液补充镍离子。在硫化镍阳极中，绝大部分金属都以硫化物的形态存在，如 NiS_2 、 Cu_2S 、 COS 、 PbS 、 ZnS 、 FeS 等，也有少量金属镍。由于金属成分优先放电溶解，从而提高了阳极的实际电流密度，发生下列不利的反应



使阳极的电流效率大为降低，使电解液中的镍离子贫化。

补充镍离子的办法是引出一部分阳极液，将其酸度调高，注入常规电解槽中电解。阳极可用较完整的镍

残极。阴极可用镍残极、铜板或石墨。氢离子和镍离子相比，其在阴极上接受电子而析出的极化作用较低。利用这一电化学特性，创造氢离子在阴极上发生电化学反应的条件，使阴极析出氢而不析出镍，从而提高电解液中的镍离子的浓度。

镍电解时，由于铜、镍分离困难，致使镍电解的发展经历了较长的时间。1899 年，加拿大 W. 布朗 (W. Brown) 用两组电解槽分别析出铜、镍的方法，部分地解决了这一困难。直到 1958 年，瑞典 N. V. 海比内特 (N. V. Hybinett) 发明了隔膜电解法才奠定

了电解精炼镍的技术，并一直沿用至今。

参考书目

赵天从主编，重金属冶金学，北京：冶金工业出版社，1981

(严汉彦)

nongcun yongdian guanli

农村用电管理 (rural electrical energy utilization management)

为使农村中的电力消费行为，按预期的目标进行而开展的活动。农村中的用电水平，随着农村经济的发展而扩大延伸。农村用电包括农村中的种植业、养殖业、农副产品加工业、建材和建筑业、小型采掘业、商业服务业等行业的用电，以及农村居民生活用电。一般来说，农村用电具有下列特点：①具有明显的季节性。受气候和地理影响，农村中的种植业和养殖业在一年之中，随气候变化，其用电具有明显的季节性，要求供电不误农时。②具有区域差异性。不同的地理环境，不同的种植业，不同的经济发展水平，农村用电具有明显的地区差异。如种植水稻、小麦的平原地区，灌溉用电占主导地位，农村经济发达的地区，农副产品加工业、乡村工业用电是主要部分。③用电负荷密度小。农村分布广，居住分散，经济相对落后，从总体上讲，用电量较少，负荷密度小。④用电负荷率低。农村用电中，除排涝、灌溉等季节性用电时，用电负荷率较高外，其他时间，一天基本没有 24 小时或 16 小时用电的负荷。农村中用电设备年利用小时数

很低。

农村用电水平与农村经济发展水平密切相关。农村经济发展程度不同，农村用电管理的内容和形式也不相同。

中国农村用电管理 农村用电从本质上与城市用电没有根本的差别。但是，由于中国是一个农业大国，农村幅员辽阔，农业人口占的比重较大，农村用电受气候、地理环境的影响较大，因而农村用电管理有其特殊性。

中国农村用电概况 中国农村用电随着中国电力事业的发展而出现，随着中国经济的发展而扩大延伸。1923年，在江苏戚墅堰的震华发电厂架设数十里的6 kV 高压线路向四周乡村供电，用以电力戽水和碾米。从此，中国有了农村用电事业。到1949年10月1日以前，中国广大农村仍处在无电可用的状态。中华人民共和国成立后的40余年间，特别是60年代以来，中国把发展农业作为发展国民经济的基础，国家加强对农业的投入，兴修水利，发展农业灌溉和排涝，加速发展农村电网，使农村用电得到了很大的发展。到1991年，农村约有8.8亿人用上了电，电力已成为农业生产、农村经济、农民生活的重要能源。但是，中国仍有28个县基本无电，农村仍有1.2亿人口没有用上电。1991年中国农村通电情况见表1。1991年中国农村用电量构成和用电设备容量拥有量见表2。1991年中国为农村供电和农村用电服务的职工队伍的基本情况见表3。

表 1 1991 年中国农村通电情况

项目	县(市郊区)	乡	村	农户
总数(个)	2394	55536	785215	23731.4(万户)
通电数(个)	2366	53539	709995	2061.6(万户)
通电率(%)	98.8	96.39	90.42	85.38

表 2 1991 年中国农村用电量构成及用电设备拥有量

项 目	排 灌	生 产	农副加工	乡镇工业	居民生活	其 他
用电量(亿 kW·h)	218.84	63.41	136.66	437.20	240.08	47.18
用电设备容量(万 kW)	3440	1048	2472	4022		1477

表 3 1991 年中国为农村供电、用电服务的职工队伍情况

项 目	农村供电职工		农村电工
	总计	其中：工程技术人员	
职工人数(人)	689473	70441	1004782

中国农村电源及电网 中国农村用电的电源，主要是依靠国家电网供电，1979年底统计数字表明，中国有1606个县的用电以国家电网供电为主，占总数的72.7%；在国家大电网尚未到达的地区，约604个县的用电主要由地方的小型水力发电站、小型火力发电厂、柴油机发电机组、风力发电机组来供应。1991年中国农村电源情况见表4。随着农村电源的建设，农村供电网络逐步形成和发展，在国家大电网覆盖的地区，农村的小型水力发电站、小型火力发电厂都并入国家电网联网运行，提高了农村供电的电能质量和供电的可靠

表 4 1991 年中国农村电源情况

项 目	小型水力发电站	小型火力发电厂	柴油发电机组	风力发电机组	其 他
发电站(座)	52784	940	81871	74802	1795
装机容量(kW)	13853435	5207276	5096864	24598	82035
年发电量(万 kW·h)	3732733.5	2160521.97	328093.97	2876.31	12096.63

性。在国家电网尚未到达的地区或草原牧区、海岛、山区，也逐步发展形成地区小电网。1991年中国农村供电线路长度见表5、农村变电所以及农村配电变压器拥有量见表6。

表 5 1991 年中国农村供电线路长度

供电线路电压(kV)	110	35(63)	3~10	0.4
供电线路长度(万 km)	5.8	21.93	201.73	462.96

表 6 1991 年中国农村变电所及农村配电变压器拥有量

电压等级(kV)	110	35(63)	35/0.4	3~10/0.4
变电所数(座)	1746	11404	—	—
变压器台数(台)	2598	18367	9113	2004997
变压器容量(万 kV·A)	5632	5770	709	16111

中国农村用电管理内容 中国农村用电管理的主要内容是乡村管电组织建设、农村安全用电管理、农村电工管理等。

(1)农村电管站。这是具有中国特色的农村管电组织。它以行政乡为单位设置，是带有民间群众性，为本乡所属农村供用电服务的非盈利性管电组织。在农村电管站服务的人员工资和福利，由农户或农村用电单位支付的电费中解决。农村电管站主要负责管辖区域内农村电力网的新建、改造、维修；农村计划用电、节约用电、安全用电的管理；农村电工的技术指导和培训。

(2)农村安全用电管理。农村安全用电是农村用电管理的主要内容。由于中国农村用电人员安全用电知识贫乏,农村供用电设备安全水平低劣,以及农村用电高速发展,中国农村曾经有一段时期用电安全的矛盾相当突出,人身触电伤亡事故频发,1973年农村触电死亡人数高达7020人。电力部门采取措施加强农村安全用电管理,到1991年农村触电死亡人数下降到625人。农村安全用电管理的主要工作:①大力普及农村安全用电常识和触电急救组织;②整改不合格的农村高低压供电线路;③根据农村的用电特点,开展农村安全用电检查,及时消除不安全的因素;④推广应用触电保安技术;⑤建立和健全农村安全用电的规章制度;⑥加强农村电工队伍的技术培训和考核工作。

(3)农村电工管理。农村电工是从事农村电工作业人员,他们的技术水平和作业技能的高低对农村的安全供电关系很大。对农村电工的管理主要采取了上岗前的技术知识和安全知识的培训,经考核合格,取得电工证后才许可从事电工作业。每隔两年对他们的电工作业技能和作业行为进行一次复验。对违章作业或发生严重作业事故者,电力主管部门可随时取消其作业资格。

见用户电工管理。

美国农村用电管理 美国农村电气化起步于1935年,农村用电普及率11%,农村用电量16.9亿kW·h;到1957年,农村用电普及率96.4%,农村用电量245.6亿kW·h,1957年以后农村用电主要向深度和广度发展。1982年农村用电量1890亿kW·h,人均用电量7500kW·h,占全国总用电量的6%。

美国全国性农村用电管理机构共有三个:①农村电气化管理局,设在农业部内。主要职责是:负责农电工程贷款项目的审批,管理贷款的发放和监督使用;制订和颁发农电技术标准和规章制度,并监督实施;对农村电力合作社进行技术和经营管理的指导。②全国农村电力合作社协会。它是以各地电力合作社为会员的群众性民间团体组织,在农村电力行业实行服务、培训、交流,推广新技术和开展业务咨询。③农村合作银行。它是一个独立经营的不盈利金融机构,其基金主要来源于合作社会员集资,贷款给农村电力合作社,帮助发展农电事业。

地方性管理机构有配电合作社和发供电合作社两种:①配电合作社。凡是该社供电区的用户都是配电合作社社员,必须交纳入股基金。社员即是股东又是用户,配电合作社已普及到各州县。②发供电合作社。凡是该社供电区的配电合作社都是发供电合作社的社员,既是股东又是用户,拥有一部分发电厂和输变电设备。一般一个州一个发供电合作社。这两种合作社的

共同点是:接受政府的援助和贷款,但不是直接领导关系;都是非盈利企业,国家免征所得税。

(蔡子才)

nongye yongdian

农业用电 (electrical energy utilization of agriculture)

在中国指排灌、农业生产、农副产品加工用电。在一些发达国家,农业用电不仅包括种植业和畜牧业用电,甚至把农业前部门(为农业提供生产资料的部门)和农业后部门(农产品加工、储藏、运输、销售等部门)的用电也包括在内。农业用电具有季节性、负荷密度小、地区差异大、年最大负荷利用小时数低、用电功率因数低等特点。农业用电负荷一般属三级用电负荷,但排灌用电在防洪、抗旱阶段不允许长时间停电,以保证农业丰收。

简史 世界各国农业用电发展历史大多是从排灌用电开始而逐步发展起来的。如日本农村是在1902年开始有电,初期为了保证粮食稳产和增产的需要,主要发展了排灌用电。1942年以后农村照明和谷物加工用电逐步增加,随着经济发展,农业用电范围逐步扩大,由大田作业、电育苗、电热烘干以及畜牧业、养殖业的电气化,发展到温室、温床、冷冻、贮藏、园艺、栽培、水产养殖和热泵暖房等用电。1970年日本农业用电量18.61亿kW·h;1982年底,农业用电量已达25.34亿kW·h,其中:排灌用电量为12.67亿kW·h,占农业用电量的50%。1971~1982年日本农业用电量平均增长率为2.8%。

中国农业用电的发展过程与国外基本相同,它是随着农田水利、农业生产的发展而逐步发展起来的。1949年以前的农村很少有电,从1949年开始,农业用电的发展大体经历了三个发展时期。第一个时期:1949年至60年代初,随城市电网向附近农村延伸供电的同时,在有水能资源的地方积极发展小水电,农村电力开始发展,在解决部分灌溉用电的同时,也解决了少数村庄照明和农副产品加工用电。1958年,农业合作化和农业集体化的兴起,加快了农业用电的步伐。到1962年,农村用电量达到15.5亿kW·h,占全国总用电量的4.1%。农业用电中以排灌用电为主,占65%;农副产品加工用电占25%。第二个时期:由于小钢铁厂、小化肥厂等小工业的迅速发展,农村用电构成发生了很大变化。到1978年中国农业用电量达到182.8亿kW·h,占农村总用电量的66.4%;排灌用电量122.0亿kW·h,占农业用电量的67.7%,排灌用电仍是农业用电中的用电大类。第三个时期:1978年以后,随着农村经济体制改革、乡镇企业大量兴起和人民物质文化生活水平的提高,农村工业生产和人民生活用电大幅



度增加,农业用电比重逐年下降,到 1990 年农业用电量为 383.82 亿 kW·h,仅占农村用电量的 37.9%,农业用电的变化,反映了农村产业结构的变化。中国是一个人口众多的农业大国,人均占有耕地面积很少,抗旱排涝可增加农业生产后劲,因而进一步发展电力排灌,扩大电力排灌和除涝面积势在必行,农业用电量必将进一步增长。

分类 农业用电分为排灌用电、农业生产用电、农副产品加工用电。1990 年中国各类农业用电量及其构成如表所示。

1990 年中国农业用电量及构成

项 目	电量(亿 kW·h)	比重(%)
农业用电合计	383.82	100
排灌用电	187.35	48.81
农业生产用电	59.74	15.57
农副产品加工用电	136.73	35.62

排灌用电 包括农、林、牧、水利业生产中的排涝、灌溉、喷灌、滴灌等用电,它反映一个国家(地区)抗旱排涝能力。

农业生产用电 包括:田间作业(耕作、植保、收摘菜)、场上作业(脱粒、扬净、烘干等)、畜牧业(供水、清除粪便、挤奶、电剪毛、电孵化等)、运输贮藏、种子处理以及工厂化温室、育苗等。1949 年中国几乎没有农业生产用电负荷,1986 年农业生产用电开始单独统计,其电量为 40.56 亿 kW·h,1990 年达到 59.74 亿 kW·h,4 年平均增长率为 10.2%。

农副产品加工用电 指粮棉油糖果及其他农副产品加工过程的用电。1949 年前,中国农村农副产品加工依靠人工和畜力,随着农村电气化,农副产品加工使用了电力,其用电量逐年增加,到 1990 年达到 136.73

亿 kW·h,1981~1990 年平均增长率为 4.9%。

用电特点 农业与工业生产条件不同、产品结构、用电性质不同,其用电与工业用电有明显的差别。农业用电具有季节性强、负荷密度小、地区差异大、年最大负荷利用小时数低、功率因数低的特点。

季节性强 农业负荷的季节性是由农业生产的季节性决定的。灌溉和农副产品加工用电的季节性,决定了春秋两季农业用电负荷比其他季节高。防洪排涝负荷的季节性特点更为突出。所以季节性强是农业用电最基本和最重要的特点。

负荷密度小 由于农村自然环境、生产分散等因素,决定了农业用电的分散性,因此负荷密度小。

地区差异大 农村幅员辽阔,地域广大、各地情况千差万别,不同地区的自然特点、耕作方式的不同以及经济文化水平、生产水平的不均衡性决定了用电水平的不均衡性。如中国东部地区农业生产水平较高,农业用电量较多;而西部则与之截然相反;北方农业生产条件特殊,负荷大而集中,用电量较多,而南方相对较低。

年最大负荷利用小时数低 最大负荷利用小时数低是农业用电的基本特征之一。它是由农业生产的特点所决定的,且随着农业用电结构的变化而发生变化。如在排灌比重较大的地区,最大负荷利用小时很低,仅有几百个小时到 1000 h;而在农业生产和农村加工用电比重较大的地区,农业用电负荷利用小时可达 3000~4000 h。但就总体来说,农业用电最大负荷利用小时比大工业生产用电低。

功率因数低 由于农业用电的主要负荷 95%以上是小型异步电动机,无功功率需量很大,自然功率因数比较低。

(邓明洁)

P

paiguan yongdian

排灌用电 (electrical energy utilization of irrigation power)

农田排水和农业灌溉的用电,广义而言,还包括为农田排水、农业灌溉而兴建的水利工程(如蓄水工程、排水工程、引水工程、提水工程、输水工程、浚水工程等)使用的电力机械的用电。排灌用电是农业灌溉用电和农田排水用电的总称。它反映了一个国家或地区水利化的程度和农业旱涝保收、稳产高产的能力。从一个国家或地区排灌用电的发展历史和水平可以反映其农业发展的过程和水平。

农业灌溉分自流灌溉(含地面灌溉)和人工灌溉两种。自流灌溉利用水的势能实现农业灌溉。它需要特殊的地形,但灌溉过程中一般不需要消耗电能,常见于中国南方。人工灌溉利用动力机械(如柴油机和电动机)实现农业灌溉,它是中国农业灌溉的基本形式,其灌溉面积占有效灌溉面积的60%。人工灌溉有提水灌溉(又称井灌)、扬水灌溉、喷灌、滴灌等各种形式。

农田排水又叫排涝,有机电排水和自动排水之分,它是降低地下水位,防止农作物受涝的措施之一。

排灌用电在排涝、灌溉期间不允许长时间停电,具有地区性差异大、季节性强、设备利用率低等特点。

简史 中国农业排灌历史悠久,早在三四千年前就开始利用提水灌溉,都江堰工程就是世界著名的水利工程之一。1912年云南昆明附近石龙坝建成中国第一座小水电站,开始了农村用电的历史,之后在吉林省前郭县、上海郊区和江苏省戚墅堰电厂附近相继建成的电力排灌站,使所在地区成为中国农田使用电力排灌最早的地区。1949年,农村用电量只有2000万kW·h,排灌用电比重微不足道。随着农村用电的发展,到1977年,排灌用电量达到102.6亿kW·h,占农业用电量的51.3%,1978年后,随着农村经济全面发展,农业用电构成发生了很大变化,到1990年排灌用电量达到187.35亿kW·h,为农业用电的48.8%,1978~1990年平均增长率达5.2%。

用电特点 排灌用电具有地区性用电量差异大、季节性强、设备利用率低等用电特点。

地区性用电量差异大 排灌用电具有明显的地域特征。如中国北方地区以提水灌溉为主,近年来,地下水位下降,深井泵站发展很快,排灌用电量,南方排涝和灌溉用电兼有,有些地区排涝和灌溉合用一套电气设备;在丘陵山区或者发展现代化农业的地区,广泛采用喷灌、滴灌等节水灌溉技术,排灌用电量较少,并有利于水土保持。

季节性强 由于排灌用电量与农作物生长期需水量有密切关系,为不误农时,应及时浇灌和排水,致使排灌用电季节性强。中国北方一般排灌用电高峰负荷出现在春秋两季,在南方一些省份和沿海河网地带,防洪排涝高峰负荷出现在夏季,季节性特点十分突出。

设备利用率低 由于排灌用电季节性强,用电时间集中,排灌设备一年最多使用2~3个月。

对供电的要求 排灌用电一般属于三级用电负荷(见用电负荷级别),但由于农业生产的时间性强,因而排灌用电对供电可靠性的要求有其特点。如排涝站,在暴风雨后3~5天内不把水排尽,庄稼就会淹死;灌溉站,如误了农时,就会引起严重减产,造成的损失当年无法弥补。这决定了排灌用电不允许长时间停电。

(邓明洁)

paiyouyanji

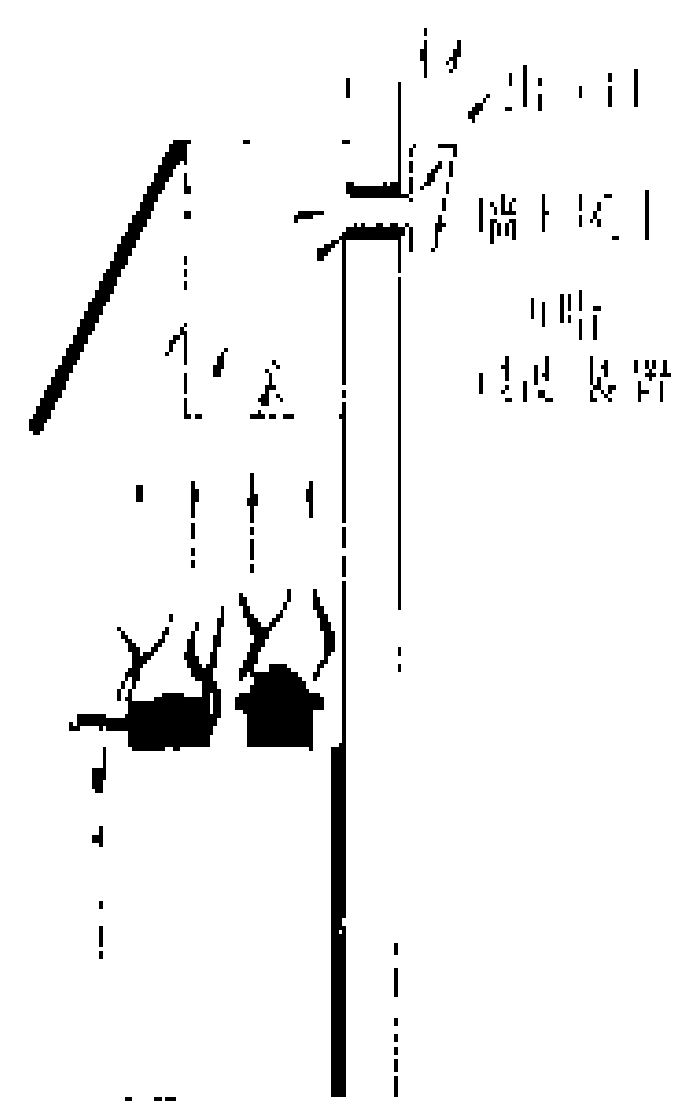
排油烟机 (range hood) 安装在炉灶上方用电力抽排油烟的厨房器具。

排油烟机有两种型式:一种是将油烟连同厨房内的空气一同直接排到室外,叫直(接)排(放)式排油烟机;另一种是将油烟连同室内空气一同吸进机内,机内装有过滤装置,带有油烟的空气经过过滤,成为洁净空气重新排到室内,叫过滤式排油烟机。

直排式排油烟机结构简单,在金属或塑料壳体的下部朝电灶或煤气灶的一面开有抽气孔,可以是单孔,也可以是双孔,还有其他一些型式。在壳体内装有电动机和抽气扇叶。壳体上部有排气孔及烟气道。

过滤式排油烟机除有排气系统外,还有两级过滤装置——过滤网及过滤板(见图)。第一级为过滤网,过滤网由孔隙度极小的海绵或纤维过滤材料制成,能大量吸附油烟分子。第二级为活性炭过滤板,它可将经过第一级过滤的空气进一步过滤,

并在其后将经过两级过滤的



排油烟机示意图

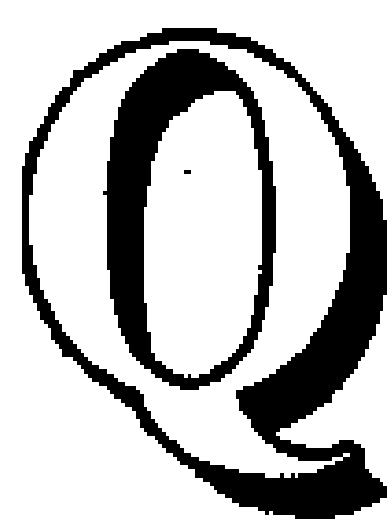


空气不致大量散到室外。过滤网可以很方便地拆下,清洗后晾干即可使用。

使用时,排油烟机一般以距灶台台面 70~80cm 为宜。有的机型设有集油盒(杯),用以收集扇叶甩到

壳体四壁的油滴。过滤式排油烟机应注意每月用洗涤剂洗一次过滤网,半年左右洗一次活性炭过滤板。

(叶宗林)



qidongqi

起动器 (starter) 控制电动机起动与停止或反转用的、可有过载保护的开关电器(见低压电器)。起动器用于控制低压直流电动机与交流电动机起动与停止或反转,它可带有过载继电器或脱扣器以保护电动机的过载,有的同时还带有欠压和其他保护。

起动器按灭弧介质可分为空气式和油浸式;按操作方法可分为手动操作、电磁操作、电动机操作、气动操作等。常见的起动器有电磁起动器、星-三角起动器、自耦减压起动器、频敏起动器和综合起动器等。

电磁起动器 它由电磁接触器、热继电器、外壳等组成,具有过载和失压保护功能。电磁起动器又分为不可逆电磁起动器和可逆电磁起动器。不可逆电磁起动器是用一台交流接触器和热继电器等组成,用外接(或内附)按钮控制电动机向一个方向转动的起动与停止;可逆式电磁起动器是用两台交流接触器和热继电器等组成,其中一台接触器操作电动机的正转,另一台操作反转,两台接触器之间加用电气连锁与机械连锁,防止两台接触器同时通电造成电源的短路。以上两种电磁起动器属于直接全压起动,适用于起动容量在几十千瓦以下的交流鼠笼型异步电动机。容量较大的电动机采用电磁起动器起动时电流较大,会引起低压配电线路电压的降低,电压降低后电动机起动转矩减小,使起动困难,同时又会影响同一供电线路上其他电气设备的正常运行。

星-三角起动器 它由交流接触器、热继电器、时间继电器、外壳等组成。起动时先将电动机绕组接成星形,每相绕组的供电电压为相电压(相电压为线电压的 $1/\sqrt{3}=0.57$ 倍),降低起动电压以减小起动电流的冲击,经过一定时间待电机转速升高到一定值后,再将电机绕组的接法改接成三角形,这时每相绕组的供电电压为线电压,并完成起动。这种起动方式较为简单,属于降压起动,能满足一般轻负载电动机的起动要求。采用星-三角起动器起动重负载机械设备(如球磨机等)的电动机,起动会失败。

自耦减压起动器 又称起动补偿器。它由交流接

触器、热继电器、自耦变压器等组成。通过从自耦变压器上抽出一个或若干个抽头,以降低感应电动机起动时的端电压,从而减小起动电流。它适用于起动几十千瓦至数百千瓦较大容量的电动机。其工作原理是起动时先将电动机绕组接至一台自耦变压器的抽头上,其电压为额定电压的 $60\%\sim 80\%$,经过一定时间后自动(用时间继电器)或手动将电动机绕组转换为全电压供电,提高了起动电压,增大了起动转矩,同时也减小了起动电流的冲击。由于利用自耦变压器多抽头减压,故可适用于起动各种负载的电动机,其电压降低程度小于星-三角起动器,可获得与星-三角起动器相比更大的转矩。

频敏起动器 它由频敏变阻器和其他控制电器组成,主要用于交流绕线型大中容量的异步电动机的起动。频敏变阻器是一等效阻抗与频率有关的变阻器。其线圈绕在用厚铁板(片)叠成的铁芯上,频率高时铁芯损耗大,相应的阻抗值也大;频率低时相应的阻抗值也小。将频敏变阻器接入交流绕线型电动机的转子绕组回路,电动机起动过程中,转子的速度从零逐步增加,在转子绕组上所感应的电动势的频率由工频(50 Hz)逐渐降低至很低的转差频率,随频率的变化,频敏变阻器的阻抗值由大逐渐自动减小,满足了起动过程的要求,起动结束后,频敏变阻器的阻抗值很小,仍可接在转子绕组回路中。

综合起动器 它由接触器、熔断器、过载保护元件、信号灯、外壳、按钮等组成,用于远距离控制交流三相鼠笼式感应电动机的起动和停止,同时具有过载、短路、失压保护和信号指示功能。综合起动器一般带有薄钢板压制的外壳,若再配上橡胶板压制的外壳及橡胶封环,还可在露天或多尘的场合使用。为了适应电动机逆转的需要,这种起动器也可制成可逆式。

(方鸿发)

qizhongji diankong xitong

起重机电控系统 (electrical drive control system for crane)

用于实现起重机正常运转的电力拖动及控制等电路组合的整体。起重机广泛使用在起重、运输、装卸和安装等作业中,以减轻体力劳动,提高劳动生产率或在生产过程中进行某些特殊的工艺操作。它是实现机械化和自动化生产不可缺少的物料搬运机械,并具有反复短暂工作的特点。起重机械主要有手动起重机,桥式起重机,龙门起重机,装卸桥,门座起重机,汽车、履带及铁路起重机,塔式起重机等。

起重机一般包括起升、行走、变幅、回转等机构。

(1) 起升机构。其负载特点为:①负载转矩的大小

不随转速而变化,当载荷不变时为恒转矩负载;②位势负载,在起升和下降过程中,要求电动机在四个象限工作;③负载变化范围大,调速时要求硬特性。

(2)行走机构。在无风力情况下均为阻力矩,运行中负载转矩变化大,机械惯性大。

(3)变幅机构。负载随幅度大小、起重量的大小和运动的方向变化而变化。其性质还与变幅机构的型式有关。

(4)回转机构。负载特点为阻力矩且与所处位置、回转方向、风力等有关,变化范围大。

起重机电控系统应能适应起重机负载的特点,满足安全、可靠、调速范围大、点动运行、可逆运转的要求,并适应位势负载的运行特点,大车行走要求电气同步等。

起重机的控制已逐步从手动发展到自动,实现程序控制、遥控、群控、数控、电子计算机控制及采用工业电视、自动秤量等新技术,但无论采用什么控制方式,对电控系统首要要求是安全、可靠,除电气设备本身要保证安全运行外,必须有完善的故障诊断系统及故障报警和显示设备,一旦发生故障立即制动停车,防止事故扩大。

专为起重机设计的电动机,有较高的机械强度和较大的过载能力。为了减少起、制动时的能量损耗,这类电机电枢做得细长,以减小其转动惯量,也加快了起、制动过渡过程,但电枢温升高于励磁绕组,需提高电枢绕组的热能品质指标。

起重机电控系统分交流传动与直流传动两大类。

交流传动电控系统 交流传动电动机可选用笼型感应电动机、双笼型电动机-行星联轴器(或行星减速器),变极双速鼠笼型电动机,绕线转子感应电动机等。其优点是系统简单、可靠、价格便宜,缺点是调速范围小、点动性能差、控制特性差、动态过程中能量损耗大、起制动次数受到限制,因此只在对控制要求不高的场合采用。一般来说,笼型感应电动机的容量使用范围在30 kW以下,绕线转子电机在200 kW以下。近些年来由于广泛采用晶闸管实现交流电动机调速,提高了交流传动电控系统的性能,这种电控系统比较复杂,价格较贵,在起重机电控系统中还很少采用,但它是发展的方向。

交流传动电控系统主要有:液压推杆调速、涡流制动器调速、晶闸管定子调压调速、晶闸管串级调速和晶闸管变转子阻抗调速等电控系统。

(1)液压推杆调速电控系统。液压推杆制动器经过变压器接到主驱动的绕线转子感应电动机(主电动机)的转子回路上,可使主电动机获得低速。当主电动机刚接至工频电源时,转子电压较高,经变压器送入推杆

电机,打开制动器使机构开始运转。随主电动机转速逐渐升高,转子电压和频率逐渐降低,推杆推力与推杆电机转速平方成正比地降低,制动器的弹簧使制动转矩逐渐增大。当主电动机的电磁转矩与阻力转矩平衡时,达到稳速运行状态。这种调速系统简单,但只有1:3~1:4的调速比,调速特性硬度差,且制动器有磨损和发热,用于起升机构下降时有时有“溜钩”现象,故只适用于中小容量的电动机。如采用晶闸管或饱和电抗器对液压推杆电机进行控制,并采用速度反馈的闭环系统,可增大调速比。

(2)涡流制动器调速电控系统。涡流制动器由与电动机同轴旋转的电枢和固定的感应器组成。依靠涡流作用产生制动力矩。其结构简单,制作方便且坚固耐用。开环时调速比可为5:1~10:1,速度闭环时可扩大调速范围。快速下降时可得较大的制动转矩。但低速时效率低、损耗大,故只宜用于低速持续时间较短的起重机。

(3)晶闸管定子调压调速电控系统。采用绕线转子感应电动机,在调压的同时,转子回路可外接电阻或外接频敏电阻。这种调速系统投资较少,维护方便,可靠性高,系统特性硬度10%时,调速比可达10:1~20:1,可无级调速,能满足一般起重机的需要。但低速和反接制动时运行效率较差,较长期低速运转时发热严重。这种调速系统适用于中、小功率,短时低速工作和频繁起制动的一般起重机。图1为门式起重机的交流定子调压调速系统原理图。它是晶闸管反并联三相对称调压、接触器可逆的闭环调速系统。当提升重物时,电动机总是处于电动状态运行于第Ⅰ象限。操作主令控制器手柄使上升接触器1闭合,同时调节定子电压可改变转速;主令控制器手柄推到最后位置可使旁路接触器3闭合,并且加速接触器4闭合,电机在自然特性上获得提升高速。当重物下降且载荷重量不传动机构的阻力矩时,电动机仍处于电动运行状态,但转向相反,即运行在第Ⅲ象限。当重载下降时,可以操纵主令控制器,获得慢速下降的反接制动[(正向)接触器1接通,进入第Ⅳ象限]、低压下再生回馈[(反向)接触器2接通,进入第Ⅳ象限]、全压下[(旁路)接触器3闭合]再生回馈的超同步速度(第Ⅳ象限)等不同运行状态。

(4)晶闸管串级调速电控系统。这种调速系统的效率较高,电动机可较长时间低速运行,动力负载时能较长时间以超同步转速下降,但系统复杂,投资大,系统功率因数差,故只宜用于功率较大,低速时间比较长,需超同步转速下降等能充分发挥其优点的场合。

(5)晶闸管变转子阻抗调速电控系统。图2为该调速系统框图。该系统将转子分级串电阻与串晶闸管变



流器相结合,能满足调速、提升、下放等工况要求。通过脉冲移相控制晶闸管变流器,改变转子有效电流,等效于连续改变转子回路外接电阻,实现电动机调速。在晶闸管调速时, QC8 断开。提升时, QC4 闭合,短接二段转子电阻。下降时, QC3 闭合,短接一段转子电阻,电动机运行于第Ⅰ象限。重载下降时,电机运行于Ⅳ象限。轻载下降时,由空钩判断电路控制运行于Ⅲ象限。如实现转速闭环控制,系统调速范围为 1.5%~50%额定转速,速度变化率小于或等于 1.5%,与全转子串电阻调速相比可节电 10%~13%。

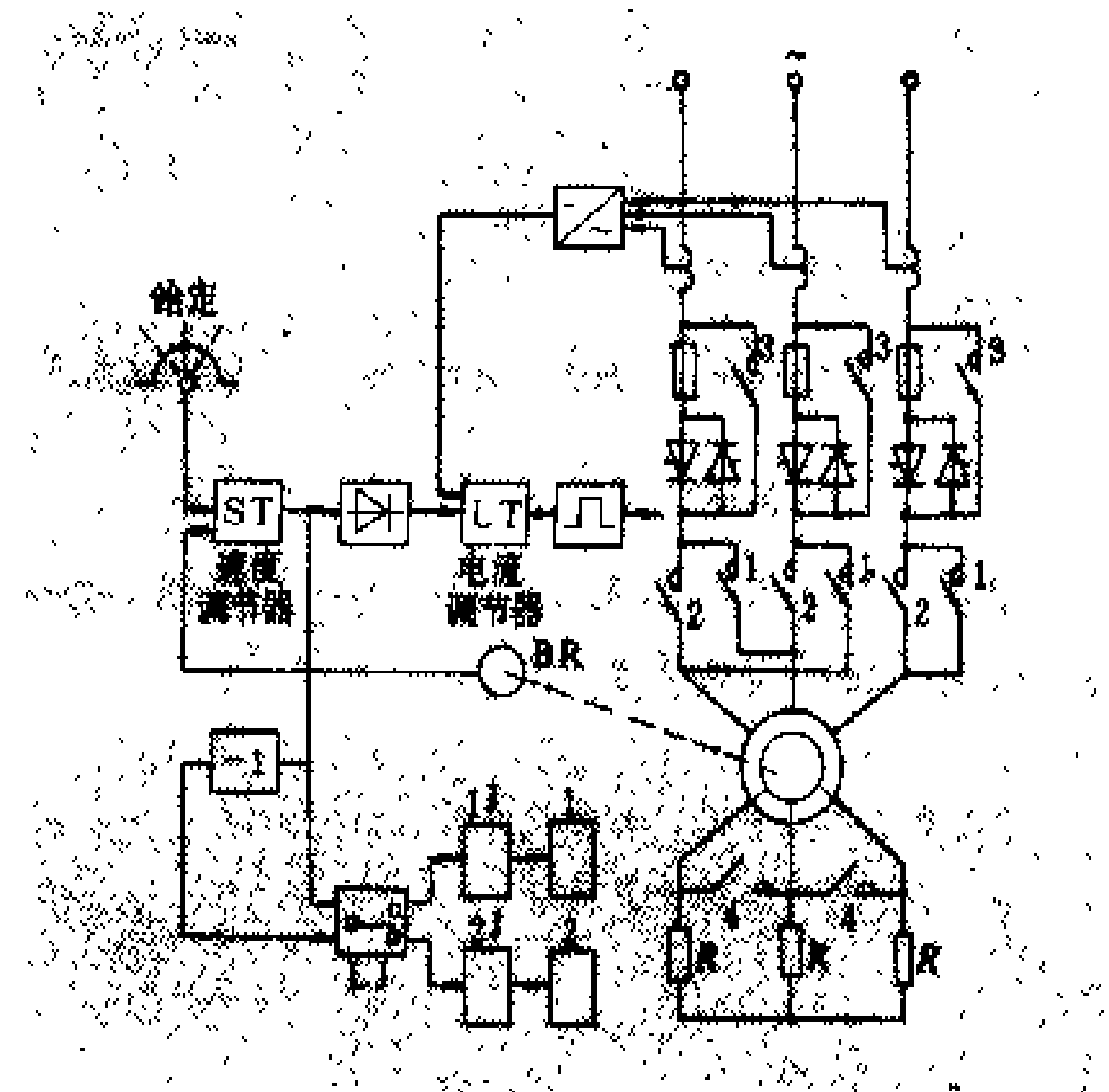


图 1 门式起重机的交流定子调速调速电控系统图

1—正向接触器; 2—反向接触器; 3—旁路接触器; 4—转子电阻短路接触器

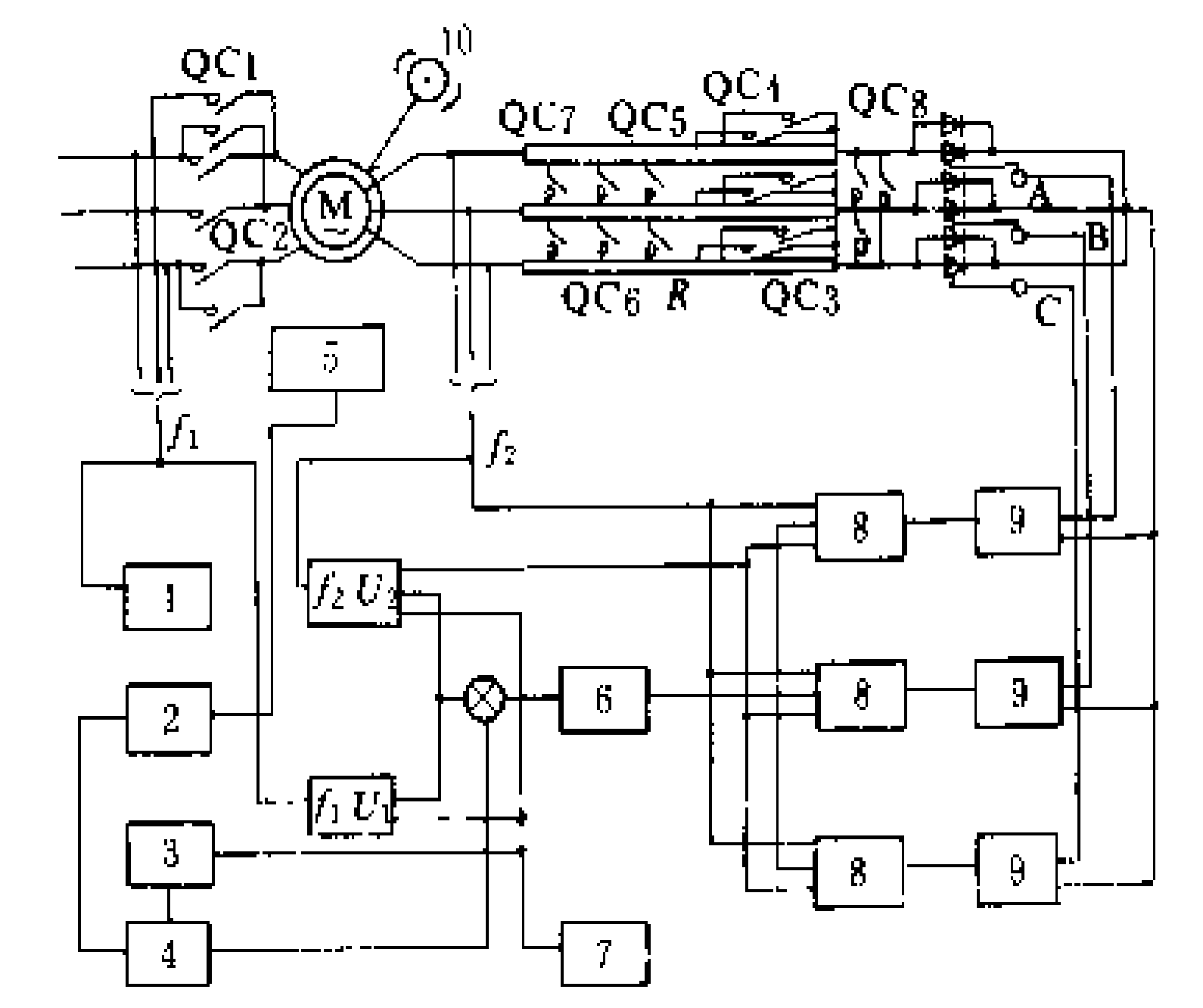


图 2 晶闸管变转子阻抗调速电控系统

1—电源; 2—主令电器; 3—空钩判别电路; 4—给定信号变换器; 5—辅助控制电路; 6—放大器; 7—速度继电器; 8—移相器; 9—形成级; 10—制动器; f/U—频压变换器

直流传动电控系统 对于性能要求较高,调速范

围大的场合,采用直流电动机传动是适宜的,除去控制灵活、调速范围大、低速性能好以外,节能效果也比较显著。对直流电动机的供电,可以采用直流发电机组。但近些年来采用晶闸管供电,有完全取代直流发电机组的趋势。起升机构采用直流电动机传动以后,还可按负荷的大小实现恒功率调速的功能,使电机容量得到充分发挥。

由晶闸管供电的直流传动电控系统,一般采用反并联无环流线路(见晶闸管相位控制直流调速),因全部设备安装在起重机上,要求尽量减小安装尺寸。室外的起重机,交流供电电源系高压进线,通过一台高压变压器变换成动力电源,直接对晶闸管供电,整流侧不带滤波电抗器。调节系统基本上是模拟式的,控制系统中采用了存储式可编程序控制器或微型计算机,实现半自动或自动控制。

(毛自若 施传立)

qiti baohu dianhuhan

气体保护电弧焊 (gas shielded arc welding)

用外加气体作为电弧介质等保护电弧和焊接区的电弧焊,简称气体保护焊。如图 1 所示,从喷嘴中以一定速度喷出的保护气体把电弧和焊接区与空气隔开,杜绝空气的有害作用,以获得优质焊缝。电极有不熔化电极和熔化电极两种。不熔化电极用钨极,系由纯钨、钍钨或铈钨(钨中加一定量的氧化钍或氧化铈制成)。熔化电极通常做成焊丝,有许多种牌号和规格,以适应不同焊接需要。保护气体主要分惰性气体和活性气体两大类。惰性气体主要用氩,有时用氦。氩的热功率较大,但价格较贵。有时用氩与氮、氢等的混和气体。活性气体主要有二氧化碳,氩与二氧化碳和(或)氧的混和气体等。活性气体在焊接中会与金属起化学反应。不同电极和保护气体各有其适用的场合。

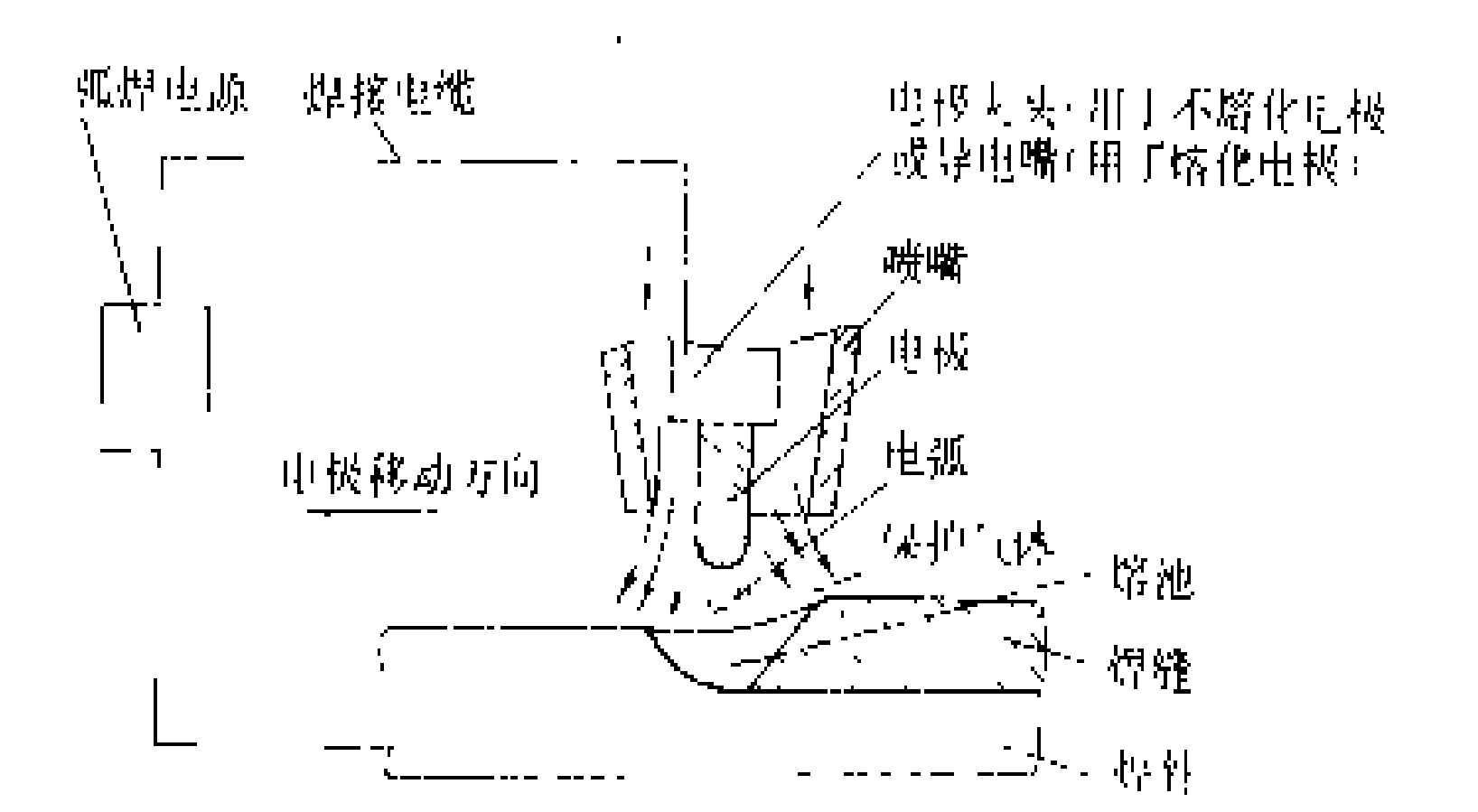


图 1 气体保护电弧焊示意图

与渣弧焊(见手弧焊、电渣焊)相比,气体保护电弧焊一般具有以下特点:①电弧可见,焊接过程容易控制;②无熔渣或少熔渣,可节省由造渣和清渣所需费用;③适用范围广,通常只要改变所用电极直径和焊接



工艺参数就可用于薄板和中厚板的焊接；④便于实现机械化、自动化和各种位置的焊接；⑤用惰性保护气体时，可焊接活性金属。气体保护焊的缺点是电弧的辐射光强，焊接中应加强劳动保护。另外，在有风的场所施焊应有挡风设施。

气体保护电弧焊，作为一个大类，可用于任何金属、任何位置 and 任何接头的焊接。但作为其中的某一种焊接方法，又各有其适用范围。

设备 气体保护电弧焊机主要分手工、半自动和自动三类。

手工焊机只用于钨极惰性气体保护焊，由弧焊电源、焊接电缆、气瓶、气体管路和焊枪等部分组成。钨极固定在焊枪中，由人工操纵焊枪施焊。如需填充焊丝，也由人工操纵。

半自动焊机适用于熔化极气体保护焊。该焊机除具有手工焊机所需各组件外，还需要有焊丝输送机构和必要的配套件。焊丝通过焊枪中的导电嘴进入焊接区。导电嘴接于电源。焊枪由人工操纵。图2给出了一台半自动二氧化碳气体保护焊设备的组成。

自动焊机可用于不熔化极或熔化极气体保护焊。该焊机除具有前述组件外，还有供焊枪与焊件作相对运动的机械装置和相应的控制系统。在焊枪对准接缝并调整好电压、电流、气体流量、行程等焊接工艺参数后，焊接过程可自动进行。

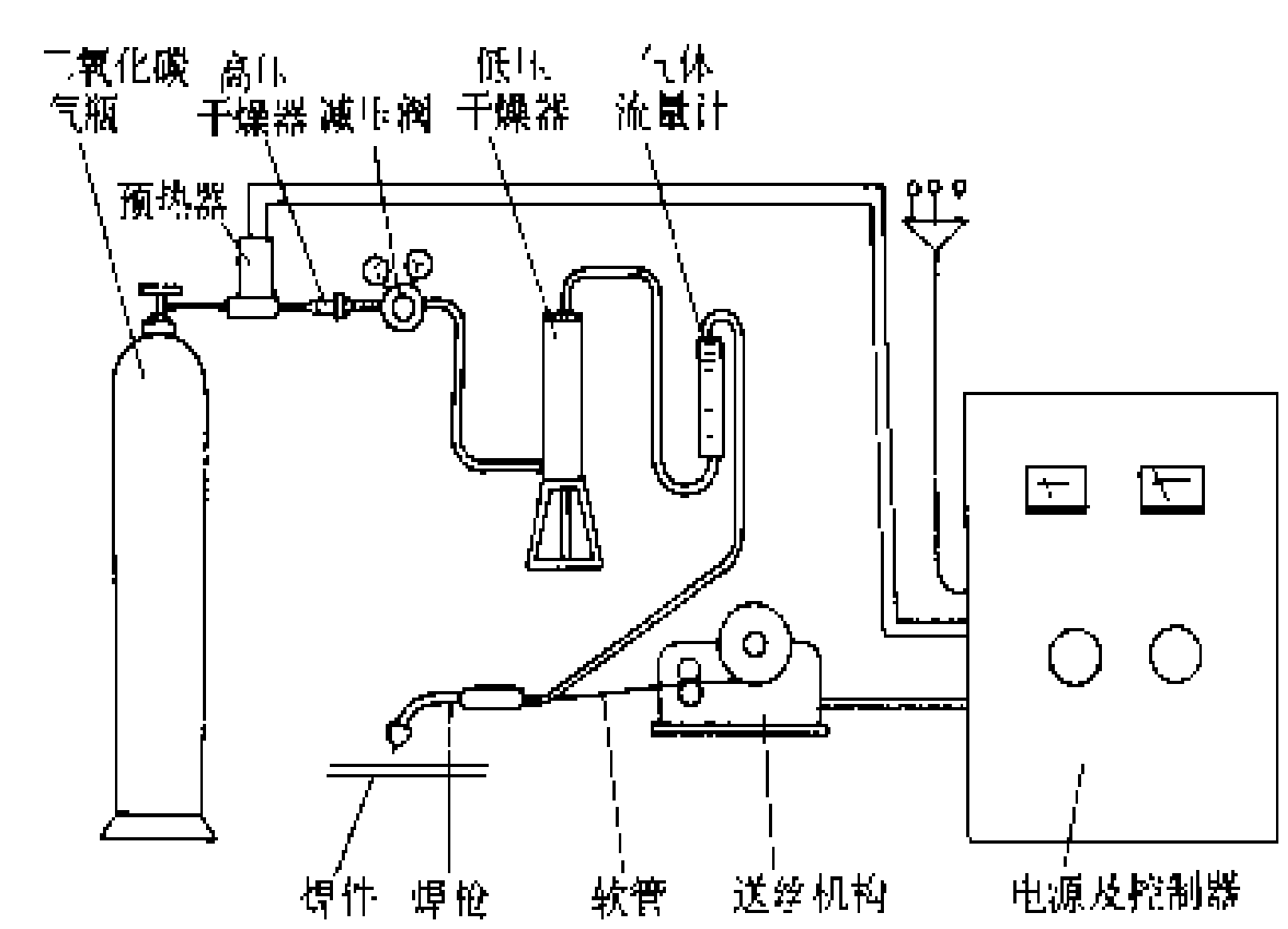
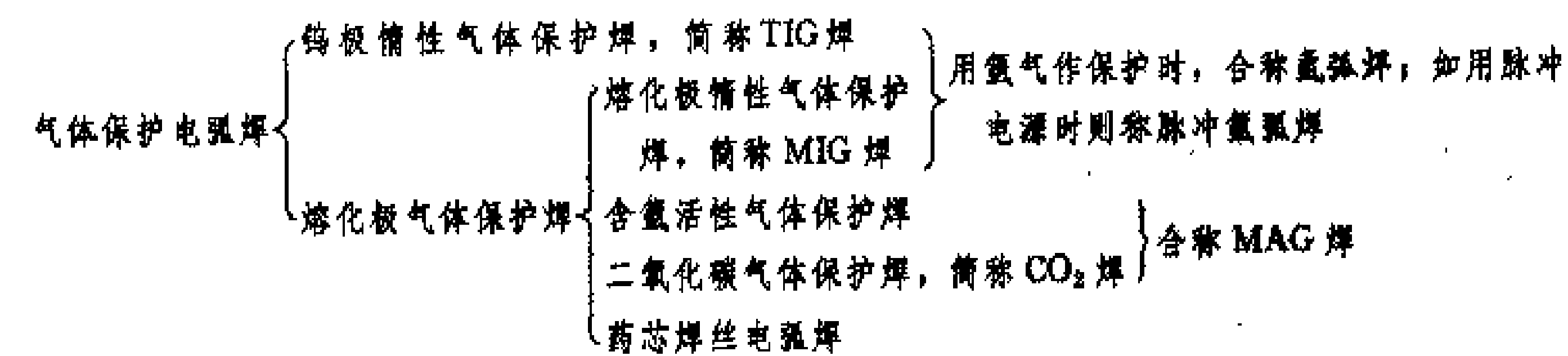


图2 半自动二氧化碳气体保护焊设备

分类 气体保护电弧焊分钨极惰性气体保护焊和熔化极气体保护焊两大类，见表。



钨极惰性气体保护焊 适宜于焊接各种有色金属和合金。其特点是电弧稳定，输入能量易于控制，焊接质量高，对焊接位置和接头几何形状的适应性也较强。但因焊接电流受钨极许用电流的限制和向焊缝中添加填充金属不方便，这种方法不利于焊接原件，焊接生产率也低。

当用脉冲电源时（见弧焊电源），如用0.5~5 Hz的低频脉冲电流进行焊接，可降低焊件的热输入，便于控制焊缝冷却结晶和控制熔深，适用于薄壁构件的焊接、悬空全位置焊和厚壁结构的打底焊等。如用20 kHz高频脉冲电流，可使电弧挺直而稳定、焊缝金属晶粒细化，并可提高焊接速度。

熔化极气体保护焊 适宜于焊接各种金属材料。与钨极惰性气体保护焊相比，焊接生产率要高许多倍。用细焊丝（一般直径小于1.6 mm）小电流时，可用于各种位置的焊接；用粗焊丝大电流时，则主要用于平焊位置。

熔化电极端部金属熔化后向熔池的过渡形式对焊接过程和焊缝形成有重要影响。熔滴过渡形式主要有喷射过渡、脉冲喷射过渡、短路过渡和滴状过渡四种。

(1) 喷射过渡——熔滴呈细小颗粒沿焊丝轴线方

向快速喷射熔池的过渡。生成条件是：必须用氩（或氮）或含氩量高（约>70%）的混合气体（包括活性混合气体）作保护气体；电源用直流反接；电流必须大于其临界值（此值与焊丝直径成比例关系）。特点是：熔滴过渡非常稳定并有方向性，几乎无飞溅，焊缝成形好，但电弧功率大，对薄板立焊位、仰焊位的焊接较难控制。

(2) 脉冲喷射过渡——采用脉冲电弧焊电源，只在脉冲电流期间才存在喷射过渡。生成条件：除必须用脉冲弧焊电源外，其余同喷射过渡。特点：除与喷射过渡相同部分外，由于电弧平均功率较小，故可用于焊接较薄的焊件，焊缝的冷却结晶和熔深等也较易控制。

(3) 短路过渡——熔滴与熔池短路接触，由于强烈过热和磁收缩效应使熔滴爆断而向熔池的过渡。生成条件：要用活性气体，用细焊丝（直径0.5~1.6 mm范围内）小电流施焊。特点：能在各种位置上方便地焊接薄的焊件，但由于电弧的热功率小，焊件厚度超过6 mm时会有焊缝未熔合的缺点。

(4) 滴状过渡——熔滴呈粗大颗粒向熔池的过渡。生成条件：用二氧化碳、氮或富含（约>80%）二氧化碳的混合气体作为保护气体，用粗焊丝（直径≥1.6 mm）大电流施焊。特点：电弧穿透力大，焊接速度快、

焊接生产率高,但焊接中金属飞溅较大。

熔化极惰性气体保护焊 通常用氩作保护气体,熔滴过渡形式是喷射过渡或脉冲喷射过渡,适宜于焊接各种有色金属和奥氏体不锈钢和高温合金。

含氩活性气体保护焊 保护气体以氩为主,但在其中加入一定量的二氧化碳(1%~20%)和(或)氧(1%~5%);根据焊丝粗细、电源类型和电流大小,熔滴过渡形式可以是短路过渡、喷射过渡或脉冲喷射过渡,适宜于焊接碳钢和合金钢,但焊接不锈钢等时为减少增碳,加入的二氧化碳要少。

二氧化碳气体保护焊 保护气体主要用二氧化碳,有时在其中加入一定量的氧(5%~20%),熔滴过渡形式是短路过渡或滴状兼短路过渡,只适宜于焊接碳钢和合金结构钢,焊接成本低。

药芯焊丝电弧焊 采用中心含有药芯(焊剂)的管状焊丝,用二氧化碳气体保护,兼有二氧化碳气体保护焊和手弧焊的某些特点,适宜于焊接碳钢、低合金钢、镍及其合金等。主要特点有:①由于采用二氧化碳气体和焊剂的联合保护,易于获得优质焊缝;②电弧稳定,飞溅少,焊缝成形好;③对焊件钢材成分的适应性强;④焊接生产率高,约为手弧焊的3~5倍。

历史和展望 气体保护电弧焊是在第二次世界大战期间发展起来的。在飞机制造业中,为适应铝合金、镁合金、不锈钢等焊接的需要,钨极惰性气体保护焊首先问世。其后,为克服钨极惰性气体保护焊难以焊接厚的焊件和焊接生产率低等缺点。在40年代末,对熔滴过渡形式有了一定认识以后,熔化极惰性气体保护焊进入实用阶段。1953年苏联B·柳巴夫斯基等发明了二氧化碳气体保护焊,克服了惰性气体保护焊成本高的缺点,使气体保护焊在碳钢、低合金钢等普通钢材的焊接上得到推广应用。以后又出现含氩活性气体保护焊、药芯焊丝保护焊、脉冲氩弧焊、气电立焊等多种气体保护焊方法。现在,气体保护焊在航空、航天、机械制造、造船、车辆制造等许多工业部门中得到推广应用。一些工业发达国家,在80年代初,气体保护焊的工作量已约占整个熔焊工作量的20%~30%。今后预期焊接设备的技术水平将进一步提高,对混合气体和脉冲焊接技术的研究和应用将有更大的发展。

参考书目

王震傲等,气体保护焊工艺与设备,北京:国防工业出版社,1982

(钱聚英)

qiti fangdiandeng

气体放电灯 (discharge lamp) 灯内两个电极在电场作用下,电流通过一种或几种气体或金属

蒸气而放电发光的电光源。国际电工委员会(IEC)的国际电工辞典第45组——照明部分中的气体放电灯(gaseous discharge lamp)只是指在一种气体,如氙、氩、氦、氖或二氧化碳等中产生放电发光的电光源。

气体放电灯的工作原理和基本结构如图1所示。图1(a)中灯的泡壳B是由透明的玻璃或石英按照所需的形状加工而成。有时则要用陶瓷或宝石来做泡壳。A和C是气体放电灯的电极,它们依靠一定的方法和泡壳B实现真空密封。其中A是阳极,C是阴极。这样区分是对直流气体放电灯而言。对交流气体放电灯来说则没有阴极和阳极之分,两极可交替作为阴极或阳极。G表示灯中所充的气体。要求所充的气体或金属蒸气基本上不应与泡壳或电极材料起化学作用。图1(b)表示将图1(a)所示的气体放电灯接入电路后使灯放电发光的电路图。

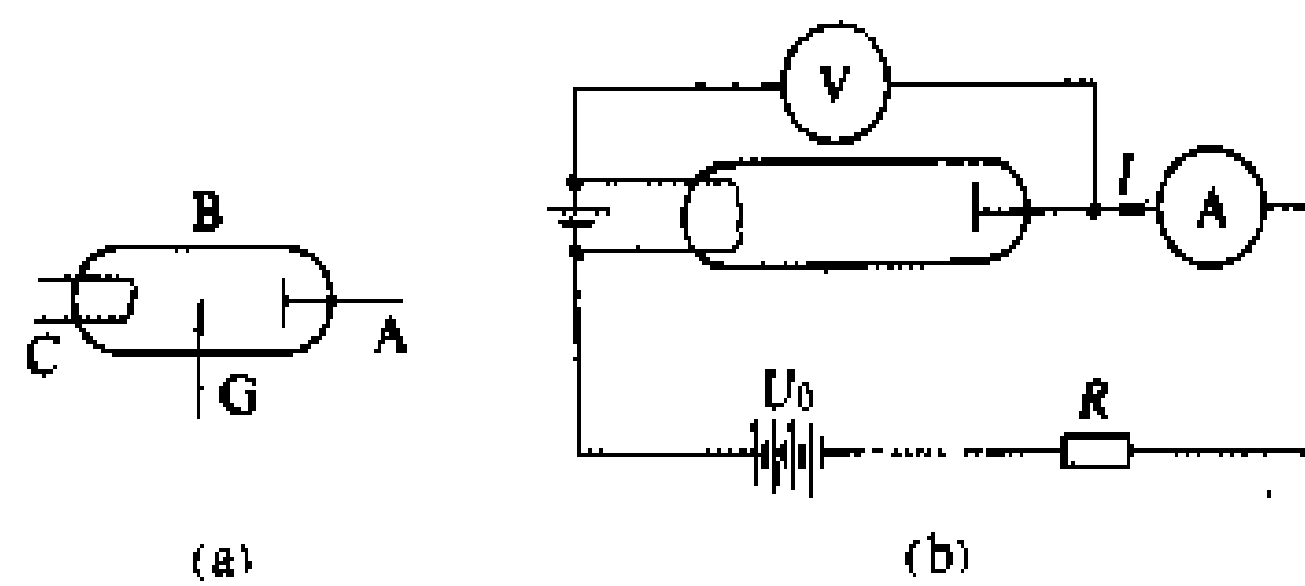


图1 气体放电灯的原理与基本结构

(a) 放电灯结构示意图; (b) 放电灯工作电路示意

A、C—电极; B—灯的泡壳; G—气体

气体放电灯的发光过程是灯内的自由电子首先被外电场加速,当运动的电子与气体原子碰撞时,电子的动能就转给原子,并使其受激发,接着是受激原子返回基态时,所吸收的能量以辐射的形式释放出来。自由电子这样不断地被外电场加速,以致上述过程在灯内连续地进行下去而放电发光。

由于气体放电灯的电弧具有负的伏安特性,即电压随电流的增加而减小。这与电学上欧姆电阻具有正的伏安特性,即电流随电压的增加而增大的情况相反。为了使灯能稳定地工作,在灯电路中应接入限流器,也称镇流器。此外为使灯迅速启动,在灯电路或灯中还要接入启动器、触发器或升压器等电气附件。

实用型照明用的气体放电灯自20世纪30年代问世之后,发展迅速,灯的种类繁多,概括起来有图2所示的两大类。一类是低压气体放电灯,另一类是高压气体放电灯。作为照明用的低压气体放电灯有荧光灯和低压钠灯,高压气体放电灯有高压汞灯和高压钠灯。高压汞灯又包括荧光高压汞灯和金属卤化物灯两类。

荧光灯是借助灯内低压(5 Pa)汞蒸气和少量助燃气体,使氙气在电场作用下放电产生紫外线,紫外线激发灯管上涂敷的荧光粉而发光的电光源。按荧光灯的

外形和使用情况可分为普通直管荧光灯,异型荧光灯,如 U 型荧光灯、圆环形荧光灯,带反射层荧光灯和紧凑型荧光灯。

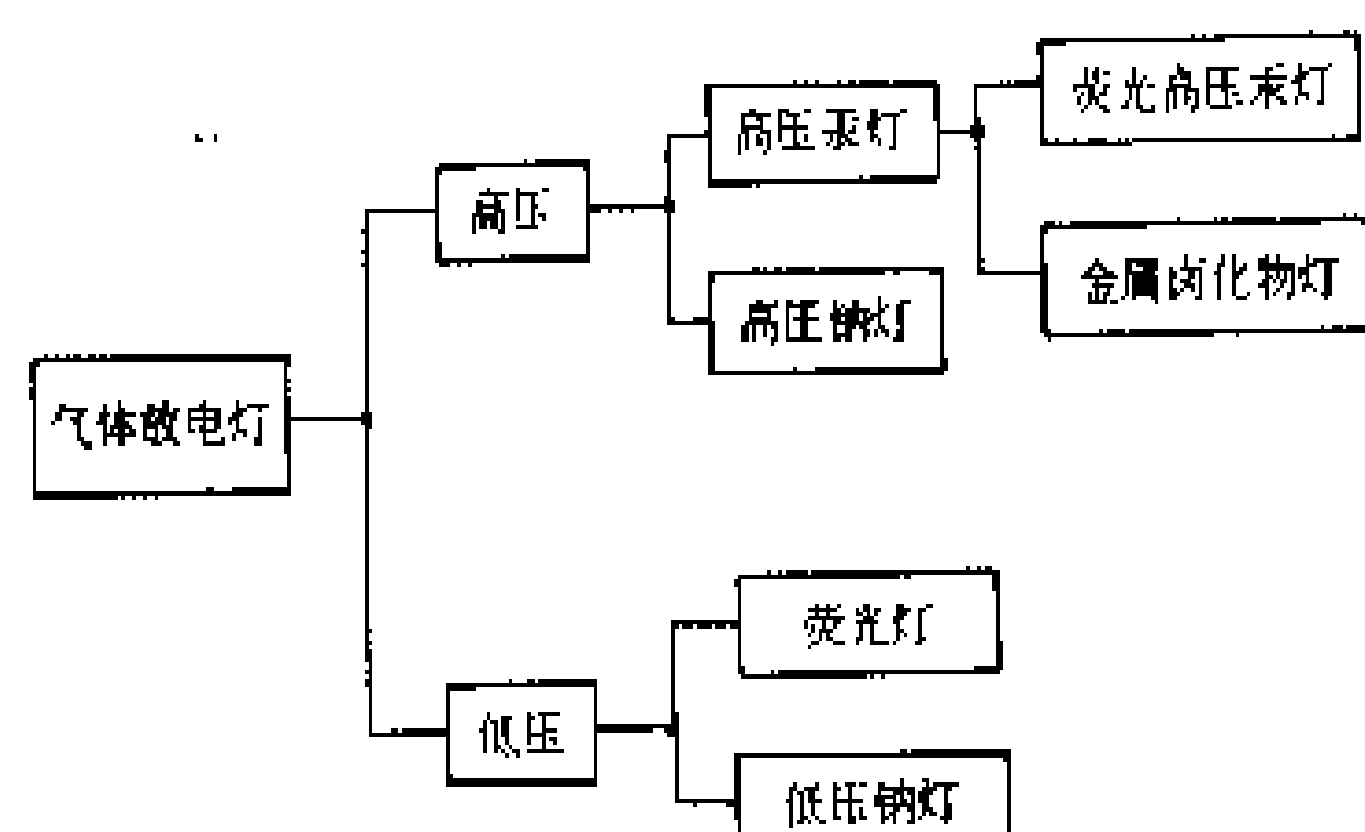


图 2 气体放电灯的分类

荧光灯的发光效率超过 60 lm/W,寿命在 5000 h 以上,光效和寿命均比白炽灯高 5 倍。同时荧光灯具有发光面积大,管壁负荷小,灯表面亮度低,显色性好等优点,以致在办公楼、学校、商店和层低的工业建筑中得到广泛应用。

低压钠灯是借助压力不超过 5 Pa 的钠蒸气在电场作用下而发光的电光源。由于这种灯在发光时辐射能量集中在钠的共振谱线上,以致发光效率达 120 lm/W 以上,是气体放电灯中发光效率最高的一种电光源。但是它发出的光是单一的黄光而局限了这种灯在照明领域中的推广应用,只是对光色质量要求不高的场所,如郊外公路和隧道照明使用较多。

高压汞灯是借助汞蒸气和少量氙气在电场作用下而发光的气体放电灯。灯内蒸气压力为 $2 \times 10^5 \sim 6 \times 10^5$ Pa。灯的光效约为 50 lm/W,寿命在 5000 h 以上。高压汞灯的光色偏蓝,缺少红光。为改善光色,一般的高压汞灯均在外玻壳内表面涂有荧光粉以补充红光。这就是一般工厂和室外照明用的荧光高压汞灯。

金属卤化物灯的发光原理和高压汞灯相似,不同之处是在气体放电管内增添了蒸气压力约为 4665 Pa 的金属碘化物,如碘化钠、碘化铯、碘化铷、碘化铊、碘化铟等。金属卤化物灯与汞灯比,提高了光效,如 400 W 的金属卤化物灯的光效达 80 lm/W 以上,而灯的显色性也有明显改善,平均显色指数最低可达 65,高的可达 90 以上。这样使它在大型体育场馆、室内大厅、主要街道、商店及对光色要求高的工厂车间和室外泛光照明中得到了广泛的推广应用。

高压钠灯是借助高压 (10^4 Pa) 钠蒸气放电发光的气体放电灯。它的特点是发光效率高达 100 lm/W 以上,寿命长达 10000 h,光色接近金白色。这种灯自 1966 年问世以来,发展十分迅速。灯的产量不断提高,在一般体育场馆、工厂、街道、商店等得到了广泛的推广应用,并取得了显著的照明节能和改善照明条件的

效果。中国从 1973 年开始独立研制成功高压钠灯以来,在街道照明和高大厂房照明中应用较普遍。随着灯的质量的改进和提高,在室内外照明中的应用将会越来越多。

提高照明质量和节约照明用电是当今整个照明技术发展的两大趋势。气体放电灯的优点正好顺应这一趋势,发展前景看好。预计不论是低压气体放电灯,还是高压气体放电灯都会有较大的发展,灯的产量也将会逐年增多,新型气体放电灯定将不断出现。随着时间的推移,气体放电灯对加速照明技术的发展将会发挥更大的作用。

(肖辉乾)

qianhan

钎焊 (brazing; soldering) 采用比焊件材料(母材)熔点低的金属作钎料,将焊件和钎料加热到高于钎料熔点、低于母材熔点的温度,利用液态钎料沾连母材,填充接缝,并与母材相互扩散,使焊件接缝得以连接的焊接方法。通常的用电烙铁锡焊就是一种钎焊。钎焊中常用钎剂(如松香、焊膏等)清洁焊件表面,使钎料容易沾连焊件。但也有不用钎剂的情况。

与熔焊(见电焊)比,钎焊的特点是:①焊件加热温度低,其结晶组织与机械性能变化小,变形小;②接头平整光滑;③可一次焊多个焊件或接头,生产率高;④可以焊接异种材料。但钎焊接头的强度一般比母材低。钎焊可用于极大多数金属及其合金,非金属材料(如石墨等、陶瓷等)的焊接,应用十分广泛。

分类 钎焊按使用钎料熔点高于或低于 450℃分为硬钎焊(brazing)和软钎焊(soldering)两类。相应的钎料分别称为硬钎料和软钎料。硬钎料主要有铜锌合金、铜磷合金、银基钎料、铝基钎料和镍基钎料等;软钎料主要有铅锡合金和锌镉合金等。

根据热源和加热方式的不同,钎焊可分为烙铁钎焊、火焰钎焊、电阻钎焊、感应钎焊、浸沾钎焊、炉中钎焊和超声波钎焊等许多种。其中除火焰钎焊和某些烙铁钎焊利用的是燃料燃烧所产生的热能外,其余各种钎焊都以电能为热源(见电加热)。

烙铁钎焊 使用烙铁进行加热的软钎焊。烙铁可用煤炉、木炭炉等加热,或用电加热。

电阻钎焊 对焊件直接通电,或将焊件放在通电的加热板上利用电阻热所进行的钎焊。

感应钎焊 利用高频、中频或工频交流电感应加热所进行的钎焊。

浸沾钎焊 将焊件浸没在加热浴槽(盐浴或金属浴)中所进行的钎焊。根据所用浴槽的不同分为盐浴钎焊和金属浴钎焊两种。(见电热浴炉)



炉中钎焊 将装配好的焊件放在炉中加热所进行的钎焊。所用炉子主要是电阻炉,根据钎焊要求可用间歇式炉、连续式炉、天然气氛炉、保护气氛炉和真空炉,有时也用感应加热炉。在真空炉中进行的钎焊又叫真空钎焊。

超声波钎焊 利用超声波的振动使液态钎料产生空蚀过程破坏焊件表面的氧化膜,从而使钎料能更好地沾连母材的钎焊。

简史 钎焊是一种古老的焊接方法,在中国,早在春秋战国时期就已得到应用。如从当时曾侯乙墓中出土的建鼓,其铜座上的许多盘条龙就是分段钎焊连接而成的。经分析,所用钎料含铅 58.48%、锡 36.88%、铜 0.23%、锌 0.19%,与现代软钎料的成分相近。半个多世纪以来,钎焊在机械、电子、轻工和仪器仪表等许多工业部门中得到广泛应用,如用于制造铜、铝散热器,各类蜂窝状结构,刀具,波导,电真空器件和电器部件等。近 20 年来,随着新型钎料和真空钎焊技术的发展,使钎焊正处于一个发展的新时期中,在汽轮机、燃气轮机和航空航天器件的制造中,以及在难熔金属的焊接和金属与非金属材料的焊接中起着重要作用。

参考书目

邹德等. 焊接方法及设备, 第四分册. 钎焊. 北京: 机械工业出版社, 1981

(钱聚英)

qiansuan xudianchi

铅酸蓄电池 (lead accumulator) 见蓄电池。

qianshui dianji

潜水电机 (water - submerged motor)

与潜水泵组成一体潜入水下工作的立式专用三相笼型异步电动机。潜水电机广泛用于排灌和高原山区汲水。电机本身是笼型感应电动机,但为了适应水下工作的条件,对定子绕组及电机结构作了特殊处理,通常采用、二极机,并尽可能减小体积及重量。常用结构有水封式、干式、油封式、密封罐式。

水封式潜水电机 在电机内部充满清水,各止口接合面装“O”形圈密封,轴伸端装有单端面或油封的防砂密封装置;定子绕组通常采用聚乙烯尼龙护套耐水电磁线,以穿线工艺下线;绕组与引出电缆的接头用自粘胶带包扎;电机的轴承以水作润滑剂,零部件采取必要的防锈、防腐蚀措施。

干式潜水电机 电机的内部结构和普通型相同,主要依靠良好的机械密封装置或气垫去防止外部的水浸入电机内部。

油封式潜水电机 结构与干式相同,电机内部充油,其定子绕组采用加强绝缘的耐油、耐水漆包线,以穿线工艺下线;绕组引出电缆的接头要密封可靠。电机下端装有保压装置,保证电机内部油压稍大于外部水压,并有贫油保护装置。由于电机内部温升引起的呼吸作用,往往造成内油外渗,故仅用于容量较大的电机。

密封罐式潜水电机 将定子用密封罐密封起来,转子浸在水中,密封罐穿过定子和转子油的气隙,适用于 4 kW 以下的小型电机。

(吴 茗)

qianyou dianji

潜油电机 (oil - submerged motor) 能浸在规定深度的油井中工作的电机,一般为立式三相笼型感应电动机。它与多级离心泵组成潜油电泵、可潜入几百米至 3000 m 深的油井中,连续可靠地抽取井下原油或井液。井液温度可达 45~90℃,井底层压力达 $(9.81 \sim 19.62) \times 10^4$ MPa,井液中除原油外还含大量水、天然气、硫、蜡及一定数量的腐蚀性物质。

由于油井井径较小,电机定子的外径受到限制,过去只能靠增加长度来增加电机的容量,受电源频率的限制,为了提高转速只能用 2 极电机,现可依靠变频电源升频以提高转速和缩短长度。

潜油电机内腔充油密封,由定子、转子、基本支撑件、引出线装置和循环过滤器组成。其主要特点是电机细长,定、转子铁芯分为若干段,定子各段间用黄铜片隔开以支撑轴承,每段转子铁芯具有独立的笼型绕组,各段转子间装有中间滑动轴承,其青铜轴套固定在轴上,钢轴瓦固定在定子黄铜片的内圆上,支座推力滑动轴承,滑动轴承和黄铜片等组成基本支撑件,循环过滤器由泵叶轮、过滤筒、过滤网及永久磁铁组成,起过滤和循环油液的作用。

(吴 茗)

qiedian

窃电 (stealing electricity) 采用不正当的手段,使供电企业的电能计量装置不记录或少记录电量,或者使电能计量装置失准的用电行为。窃电扰乱了正常的供用电贸易结算秩序,是一种盗窃他人财产,被世界各国都明令禁止的用电行为。世界各国对窃电者均有严厉的处罚规定,并奖励检举、查获窃电有功人员。

窃电行为 窃电行为是指:①在供电企业的公用供电或配电线路和变压器上,私自引接线路用电。②绕过供电企业的电能计量装置私自用电。③故意改变电能计量装置的接线,伪造或开启电能计量装置封印用



电。④故意损坏供电企业电能计量装置,使记录的电量数值失真。⑤采取不正当的手段使电能计量装置记录不准或失效。⑥采用其他方法窃电的。

窃电处罚 对窃电的处罚,世界各国的做法不尽相同。美国、法国、英国等国,对查获的窃电者,除当场停止供电外,还将窃电者移送司法机关处理,由法院根据窃电的事实作出罚款或判刑。中国对查获的窃电者,除供电企业可当即采取停电措施外,还可按私接的容量及实际窃电时间追缴电费并按国家有关规定加收电费和其他费用;构成违反治安管理处罚行为的,由公安机关依法予以处罚;构成犯罪的,由司法机关依法追究刑事责任。因窃电导致他人财产或人身安全受到损害的,窃电者除停止侵害外,还要负责损害的赔偿。

检举、查获窃电的奖励 为了扶正祛邪、鼓励检举、查获窃电的行为,中国的供用电法规对检举查获窃电的有功人员作出给予物质奖励的规定,奖金可从窃电加收的费用中开支,奖金的数额按参与检举查获人员是否电力企业职工,规定了不同的提取比例和最高奖金额度值。

(王世煌 顾嘉棠)

qinggui jiaotong

轻轨交通 (light rail transit) 采用轻型结构的有轨电车,又称轻轨铁路。轻轨交通是20世纪70年代发展起来的一种中等运量的快速轨道交通,实际上是现代化的有轨电车。它既可在地面(通常有专用行车轨道)行驶,又可与地下铁道线路相连进入地下隧道,或在高架轨道线路上运行。轻轨交通具有速度快、建造方便、造价较低、适应性强、效率高、乘坐舒适等优点。它是有发展前途的城市公共交通工具。

供电系统 轻轨交通牵引用电,属于一类负荷,应由双电源供电。电源由城市供电网供应。变电所优先采用交流10 kV分散供电方式;不能实现分散供电时,可

实行集中供电或集中与分散相结合的供电方式。

新建轻轨交通电压制应选用国际标准直流750 V,并采用架空接触网馈电方式。旧式有轨电车线路采用的直流600 V电压标准,在其尚未改造成轻轨交通之前,可保留使用。

电动车辆 车体采用全金属轻型结构(铝或铝合金),单位车体长度的自重为1120~1450 kg/m。有四轴(两台转向架)单车箱、六轴(三台转向架)两车箱铰接车和八轴三车箱铰接车。在实际使用时,根据运营需要,采取单车运行或几节车辆编组运行。

为减少噪声和振动,车辆采用橡胶空气弹簧悬挂、空心车轴、轮毂和轮箍间装有弹簧减振垫,车厢内部噪声低于65 dB,外部噪声不超过82 dB(离轨道1.5 m处)。车内装有空调设备。

电动车辆的传动及控制采用单臂Z型受电弓,并能同时适应轻轨交通地面上采用架空导线供电,而在隧道内则采用第三轨供电两种供电方式的要求,为此车上装有两套受流装置,进出隧道时能自动转换。

轻轨电车驱动系统的主转向架由一台电动机驱动。牵引电动机采用纵向布置,两端有输出轴,通过万向节驱动两对车轮,使转向架达到小型、轻量化。一般单车厢用一台驱动转向架,铰接车两端为主动转向架,中间铰接处设有从动架。

轻轨电车的动力性能指标,高于传统的有轨电车。因其采用晶闸管斩波器控制,实行再生制动,所以动力消耗指标较低,每人·公里耗能约为公共汽车的1/3,运行速度一般在25~35 km/h,车辆造价比地铁动车低25%左右。轻轨电车所需投资为地铁投资的1/3~1/2,运营费用也低,对环境适应性强。据德国研究证明,在单向客流量达到4000~5000人/h的情况下,应考虑轻轨交通。根据中国情况,有人主张客流量在每小时万人左右时,应采用轻轨交通。

(商福崑)

R

ranliao dianchi

燃料电池 (fuel cell) 连续地将燃料的化学能直接转变为电能的化学电源。燃料电池主要由正极(又称氧化剂电极)、负极(又称燃料电极)和电解质组成。与其他电池不同,燃料电池的正、负电极本身不包含活性物质,只是催化和集流的转换元件,也是发生电化学反应的场所。燃料电池的正、负极活性物质,即氧化剂和燃料是由外部源源不断地输入到电池的正、负电极上,进行电催化反应,产生电能。燃料电池一般有转换效率高(理论转换效率为100%,实际可达67%)、污染小、噪声低等优点,可制成无声、可靠、不需维护的电源。

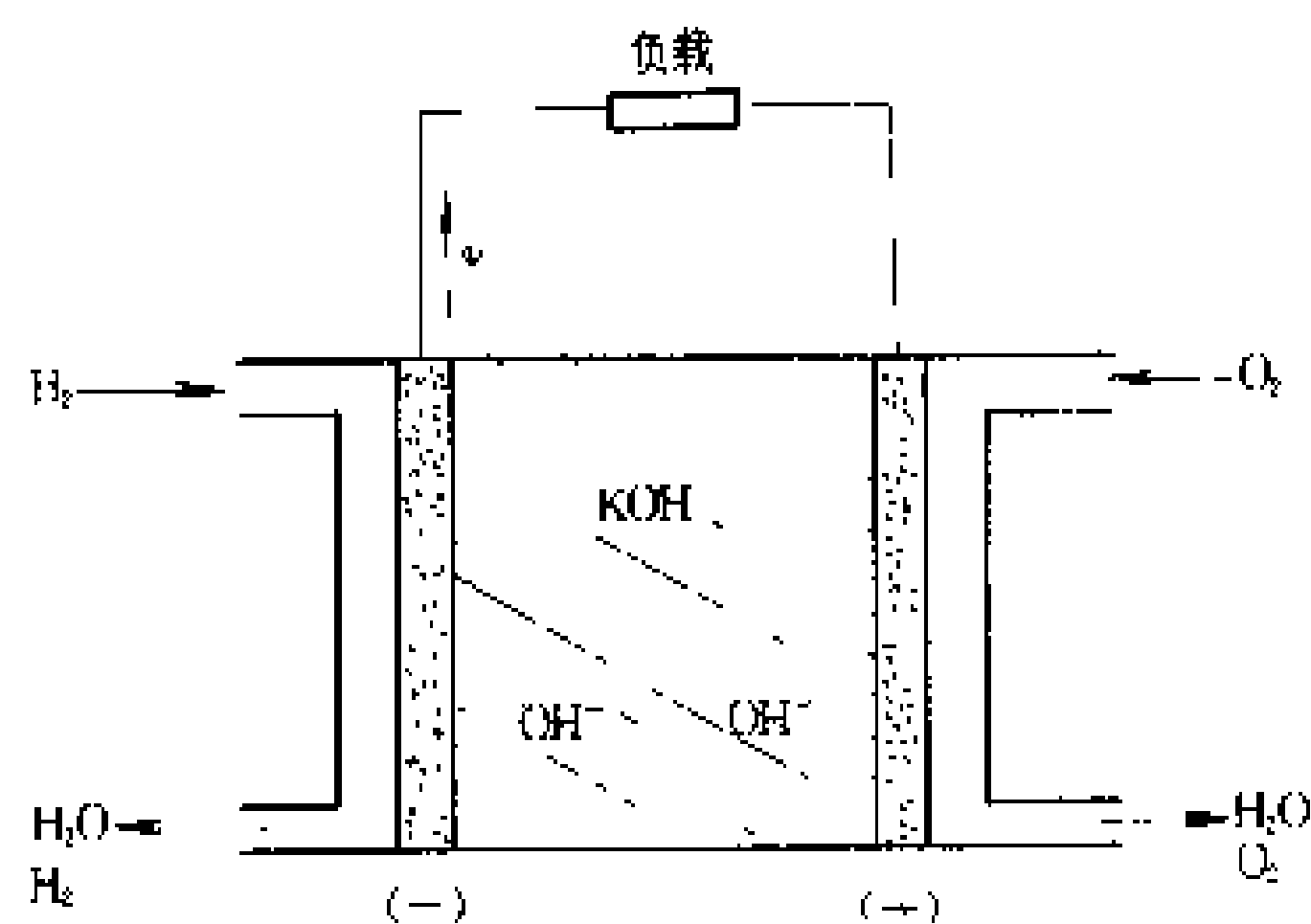
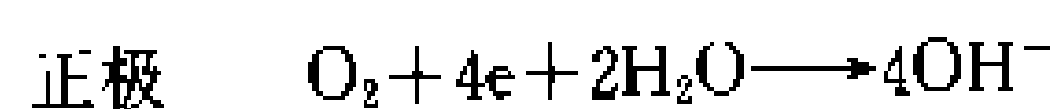
燃料电池的正、负电极多采用以贵金属作催化剂的气体扩散电极。负极活性物质,即燃料,常用氢、肼、甲醇等。正极活性物质,即氧化剂,常用氧、空气、过氧化氢等。电解质为酸或碱的水溶液、熔融盐或为固体氧化物及聚合物。

电极接触电解质溶液的层面完全被电解液浸透,接触气体的层面则被气体所充满,在电极内部形成气体、液体、固体电极之间的三相界面,正是在这一界面附近进行着电化学反应。

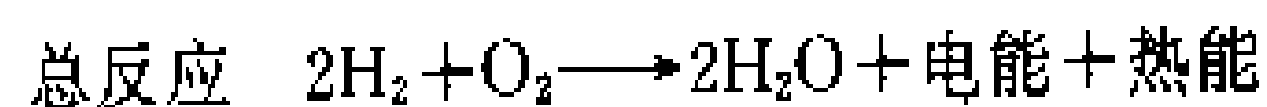
碱性氢-氧燃料电池的电化学式可表示为



其原理见图。电池放电时,负、正极反应为



氢-氧燃料电池原理示意图



燃料电池的工作电压为0.8~0.9 V,电流密度120~300 mA/cm²,能量转换效率67%,寿命1000~10000 h。

为将燃料和氧化剂不断地输送给燃料电池,需要有燃料和氧化剂的供给系统。为将反应产生的水和热及时从电池中排出,需要有排水系统、排热系统及控制等辅助系统。

燃料电池是世界广泛议论的利用氢能的物质基础。将大型发电厂在负荷低谷时充分发电并电解水生产的氢气贮存起来,用管道输送给各个用户,再用燃料电池就地发电。氢气在管道内输送的能量损失,要比远距离输电的能量损失小得多,加以燃料电池的能量转换效率高,能源利用效果很好。

适用于空间探索、海洋开发两尖端领域的燃料电池,以及适用于驱动车辆的燃料电池都有广阔的发展远景。

早在1839年,W.R. 格罗夫(William Robert Grove)就发展了在电池中氢的氧化反应产生能量的报告,3年后创制了由氢-氧电池组成的电池组。这种电池采用了价格昂贵的铂电极,没有得到推广。20世纪30年代,美国F.T. 培根(F.T. Bacon)研究过中温氢-氧燃料电池。改进的培根电池已于1965年成功地应用于美国阿波罗宇宙飞船上。燃料电池存在的主要问题是成本高、寿命短,因此还不能和常规电源相竞争,现在正从减少贵金属催化剂用量,或寻找新的、便宜的催化剂以降低成本,改进电极制备工艺和隔膜材料来提高寿命,进行研究工作。

参考书目

徐国宪,章庆权,新型化学电源,北京:国防工业出版社,1984

(崔淑玉)

raoxian zhuanzi ganying diandongji

绕线转子感应电动机 (wound - rotor induction motor ; slip - ring induction motor)

定子上的一次绕组连接于电源,转子上具有与集电环连接的多相绕组的感应电动机。图为三相绕线转子感应电动机示意图。转子三相对称绕组可以连成Y形接线或△形接线。这种转子的特点是转子绕组可以外接电阻,以改善电动机的起动性能或用以调节转速。与笼型转子比较,其转子结构较复杂,价格较贵,因此主要用在要求起动电流小,起动转矩大,或需要平滑调速的场合。

绕线转子感应电动机的起动主要方法有:①转子串频敏变阻器起动。②转子串电阻起动。为了在整个起



动过程中尽量保持较大的起动转矩,可以在电动机转起来以后,采用逐级切除起动电阻的分级起动。其优点除上述外,还因转子只串电阻没有电抗,起动过程中功率因数比串频敏变阻器起动时要高,且起动电阻可同时兼作调速电阻。



绕线转子感应电动机示意图

短路,然后将电刷从滑环上提起。

绕线转子感应电动机的主要调速方法有:①转子串电阻交流调速;②交流串级调速。

(金放玫)

reguozai jidianqi

热过载继电器 (thermal over-load relay)

由于电流通过热元件所产生的热效应而反时限动作的继电器,又称热继电器。热过载继电器广泛地被用作交流电动机的过载保护,有的还用作电动机的断线保护。

热过载继电器由双金属片、发热元件、触点、机械传动机构及其附件等组成。双金属片由具有不同线膨胀系数的两个金属片辗压复合而成。线膨胀系数大的金属片称为主动片,线膨胀系数小的金属片称为被动片。当双金属片受热时,每一种金属都伸长,但因线膨胀系数不同,金属片的伸长幅度不同,从而使双金属片向被动片一侧弯曲,温度越高,弯曲越大,当达到一定弯曲程度时,通过机械传动机构使串联在控制回路中的触点断开,切断被控主电路的电源,起到保护作用。双金属片受热可采用三种方法:①直接加热。使电流通过双金属片本身自行加热。②间接加热。将康铜或镍铬合金等电阻材料制成的发热元件串接于被保护设备的主电路中,当电流通过时发热元件产生热量,使置于热元件附近的双金属片受热。③复式加热。同时采用直接加热和间接加热两种方式使双金属片受热。

使用热过载继电器时应将发热元件或双金属片直接串接于被保护设备的主电路中,将继电器触点接于相应的控制电路中,如将热过载继电器的常闭触点串接于接触器线圈回路,常闭触点动作可实现分断主电路的自动保护,而将其常开触点根据需要与指示灯或其他信号回路相连接,以便及时反映电路工作状态及

进行信号监视。

由于热过载继电器测量元件有热惯性,使动作有时延,所以其动作特性为反时限特性(见熔断器)。这使得热过载继电器只能作为用电设备或电路的过负荷保护,而不能作为短路保护。因此,热过载继电器应与熔断器串联连接,配合作用,当发生短路故障时由熔断器进行保护。

(李朝阳)

relianzhaji diankong xitong

热连轧机电控系统 (electric drive control system for hot tandem mill)

用以实现热连轧机正常运转的电力拖动和控制等电路组合的总体。热连轧机主要用以生产厚度在12 mm以下的薄板或钢卷,如用作汽车或加工行业和冷轧机用钢板;生产总量已占热轧板生产的80%以上。

热连轧机主要由板坯加热炉、粗轧机组、精轧机组、输出辊道和地下卷取机组等组成。由初轧机(或连续铸锭机)生产的方形坯料经加热炉加热后进入粗轧机组。在全连续式热连轧机中,粗轧机组在立式破鳞机后一般有4~6台水平机架。为缩短粗轧区的轧线长度,粗轧区最后两个机架应保持尽可能小的张力。精轧机组通常由一台除鳞装置和6~7台精轧机架组成,机架间距离很短,在轧制时板坯跨接在精轧的各个机架之间并通过设在机座间的活套机构维持微小的带钢张力。经过精轧机组轧制后的带钢通过输出辊道(长度约130~150 m)冷却并送入卷取机组。一般轧机设有卷取机2~3台,轧制时交替卷取,卷取的速度高于精轧出口速度约7%~15%。最高的精轧出口速度已达21~23 m/s,因而卷取机必须在10~12 m/s或略低的速度时咬入带钢开始卷取,并随着精轧机组加速到较高速度。这样每轧一块板坯就有一次加减速重复,因而要求精轧机组必须采用可逆晶闸管变流器单独供电。通常逆变装置的容量大约为整流装置的1/3~1/5。随着轧机生产能力和产品精度的不断提高,最大的板坯单重可达45 t,每台轧机每年的最高生产能力可达3600~4500 kt,其中主传动电机总功率已超过100 MW,精轧机架主传动单机容量可达10 MW,传动电机多采用并励直流电动机,弱磁调速范围普遍增至2.1~2.2倍,电枢电压最高可达1200 V,承受的经常工作过负载和偶然过负载分别为200%、220%额定负荷。为减少惯性和提高加速能力,粗轧机组中的可逆机架多采用单辊传动方式,精轧机架多用双辊或三辊电动机传动,同时还配置有一套复杂的控制和计算机自动化系统,以实现从加热炉输入辊道至卷取机运输链的全线自动化的各项控制要求。

热连轧机电控系统主要包括粗轧机电控系统、精轧机电控系统、卷取机和其他辅助传动电控系统。

粗轧机电控系统 粗轧机主传动通常采用上下辊,分别由电动机单独传动的方式,多采用多相(通常12相)可逆晶闸管变流器供电,速度闭环控制,在弱磁范围励磁电流和电枢电压非独立调节,工作制和控制要求类似可逆热轧机电控系统。粗轧机组的最后两个机架,为实现最小张力控制(MTC),前面机架采用可调速直流电机传动,晶闸管供电闭环控制,后面机架采用交流同步电动机驱动,速度恒定。MTC控制的基本工作原理是采用间接测张力法计算这两个机架间张力,然后将计算值和张力给定值(即给定的最小张力)比较,并通过调节轧辊转速来消除张力偏差实现MTC控制。框图如图1所示,张力值计算式为

$$T_F = \frac{2a_0 F_R + bT_B - M_R}{c}$$

式中 T_F 为该机座出口侧张力; T_B 为进口侧张力; F_R 为有张力轧制时的轧制压力; M_R 为张力轧制时轧制力矩; a_0 为无张力轧制时的轧制力臂; b 、 c 为该机架计算张力值所用系数。

轧制压力 F_R 可通过装于机座内的测压仪测得。 T_B 进口侧张力可从前架计算结果取得。 M_R 轧制力矩是从测量电动机电磁力矩以及空载和加速力矩中计算而得,即

$$M_R = M_E - M_0 - M_a$$

式中 M_E 为电机电磁力矩; M_0 为空载及摩擦力矩,其值与电机转速 n 有关; M_a 为加速力矩,其值与电机 GD^2 及 dn/dt 有关。轧件咬入本架但尚未进入下架之前通过检测得知轧制力矩,又因这段时间该架的出口侧张力 $T_F = 0$, 轧制力臂 a_0 可记为

$$a_0 = (M_R - bT_B) / 2F_R$$

式中 M_R 、 bT_B 和 F_R 为已知数。但应注意求得的 a_0 往往因外界条件(如压下开度等)变化需随时加以修正。这样增加了实现时的复杂程度,全部过程的计算通常通过过程计算机(或部分硬件模拟放大器)实现。其中的转矩关系,有些系统通过检测传动电机电流及转速等参数用现代控制理论中某些方法组成观测器来实现。但总的说来,这种间接测张力以实现MTC的方法在精度上都有很大的局限性。

此外,在新轧机中还设有宽度控制(AWC),目的在于提高成品的尺寸精度,保证在全部长度范围内宽窄一致,减少切边和能源消耗。AWC的主要功能包括前馈控制、反馈控制和短行程控制。前馈控制是按照测得的沿长度方向宽度和温度变化经过恰当延时预先调节立辊侧压开度设定值来实现;反馈控制是类似水平机座中AGC控制,通过测量立辊的轧制力变化调整

侧压开度以补偿机架弹跳变化的影响;短行程控制是通过修改侧压装置开度设定值,改善头尾部情况的控制。

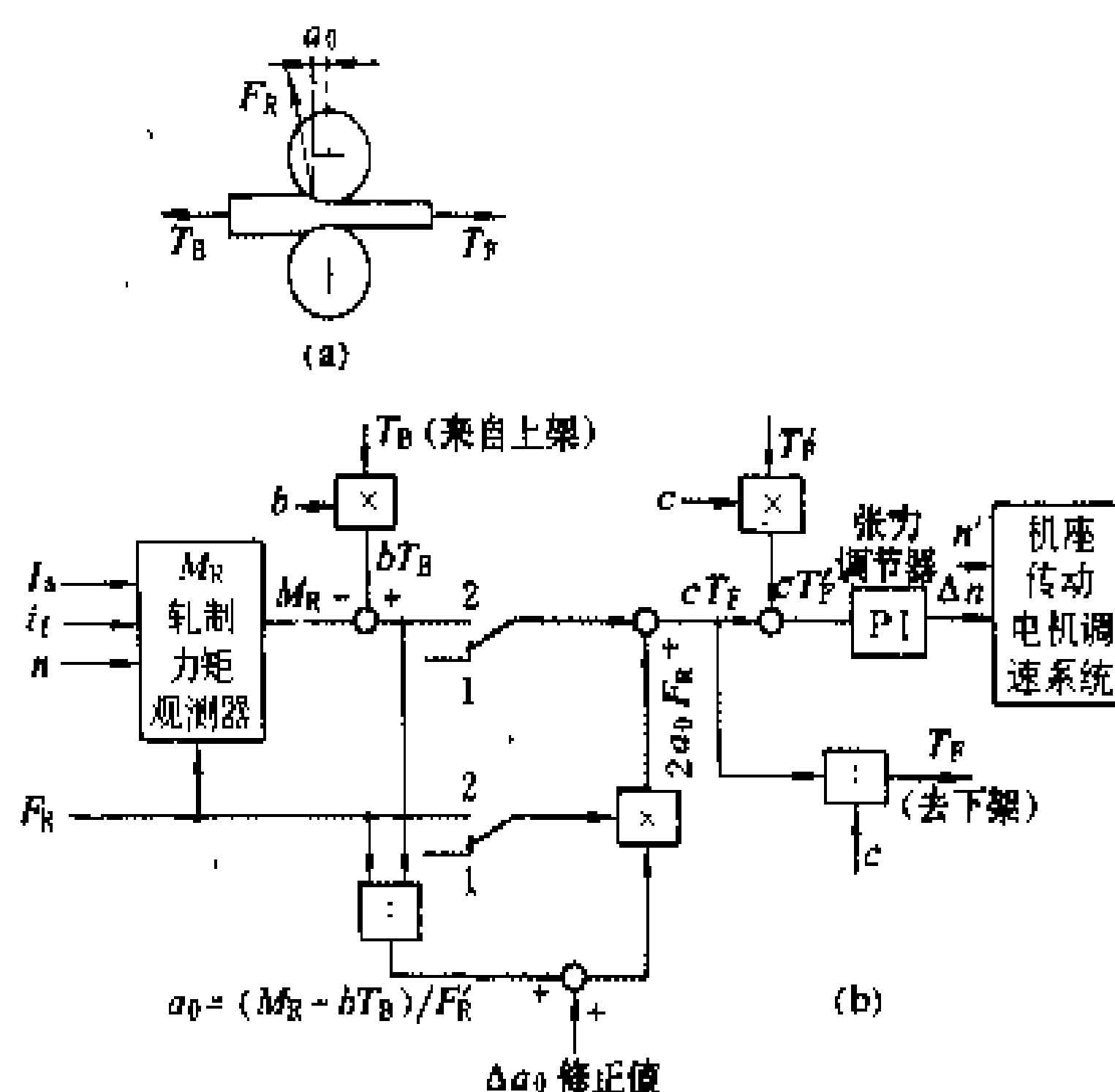


图1 MTC控制系统图

(a) 轧制力和轧制张力; (b) 最小张力控制框图

F_R —有张力轧制时的轧制压力; a_0 —无张力轧制时的轧制力臂; T_B —轧件入口侧张力; T_F —轧件出口侧张力; I_a —主传动电机电枢电流; i_t —主传动电机励磁电流; n —主传动电机实测转速; F'_R —实测轧制力; b 、 c —计算系数; n' 、 T'_F —转速、张力设定值; Δn —实现MTC控制时的转速修正值; 1—测量; 2—调节

精轧机电控系统 精轧各架的主传动电机通常用单独的不对称可逆晶闸管变流器供电,三相桥式整流和反并联可逆。但在个别电力系统容量较低的场所,亦采用发电机组供电和晶闸管励磁系统。控制回路基本结构为电流内环和速度外环,内环截止频率 $\omega_c = 200 \sim 250 \text{ rad/s}$, 外环截止频率 $\omega_s = 20 \sim 25 \text{ rad/s}$ 。为进一步提高控制性能,在系统中附加有电流断续自适应回路,用以改善在空载和小电流情况下晶闸管回路放大倍数和时间常数变化的影响。电流环内的电动势用以记忆在电流切换前的触发角,以保证切换完成后变换器所提供的逆变电压和电机电动势相适应,可减少电流换向死区时间和提高可靠性。此外,速度环内的磁通自适应和电动势环内的速度自适应,用以补偿在弱磁条件下主电机积分时间常数和转速变化的影响。在咬钢和突加负载条件下,为了尽可能地减少转速波动,除采用提高开环增益和外环截止频率外,近些年还采用前馈控制方式,即通过某些观测的方法获得主电机轧制力矩信号(图2),然后前馈至电流环输入端,提高咬钢瞬间电流波形前沿陡度,可减少动态速降。

活套机构设于精轧机组的每两个机架之间,一般



共设 5~6 个,用以张紧机架之间的带钢,早期的活套曾用汽压传动,但近年已几乎被电动活套所取代。由于经常处于低速堵转状态,应选用力矩型电动机。因为力矩不反向,可采用单向不可逆晶闸管变流器供电,电流及转速双闭环控制。轧制过程包括张力和高度控制。张力控制是根据不同钢带的张力大小计算不同摆角时的张力力矩,并作为电流设定值至电流控制系统,通过调节电流维持张力恒定。高度控制是根据摆角传感器检测的摆杆实际位置,并以给定值比较产生偏差,通过高度调节器按确定比例修正本架及上下游各架轧辊速度设定值,以维持轧制过程活套高度恒定。

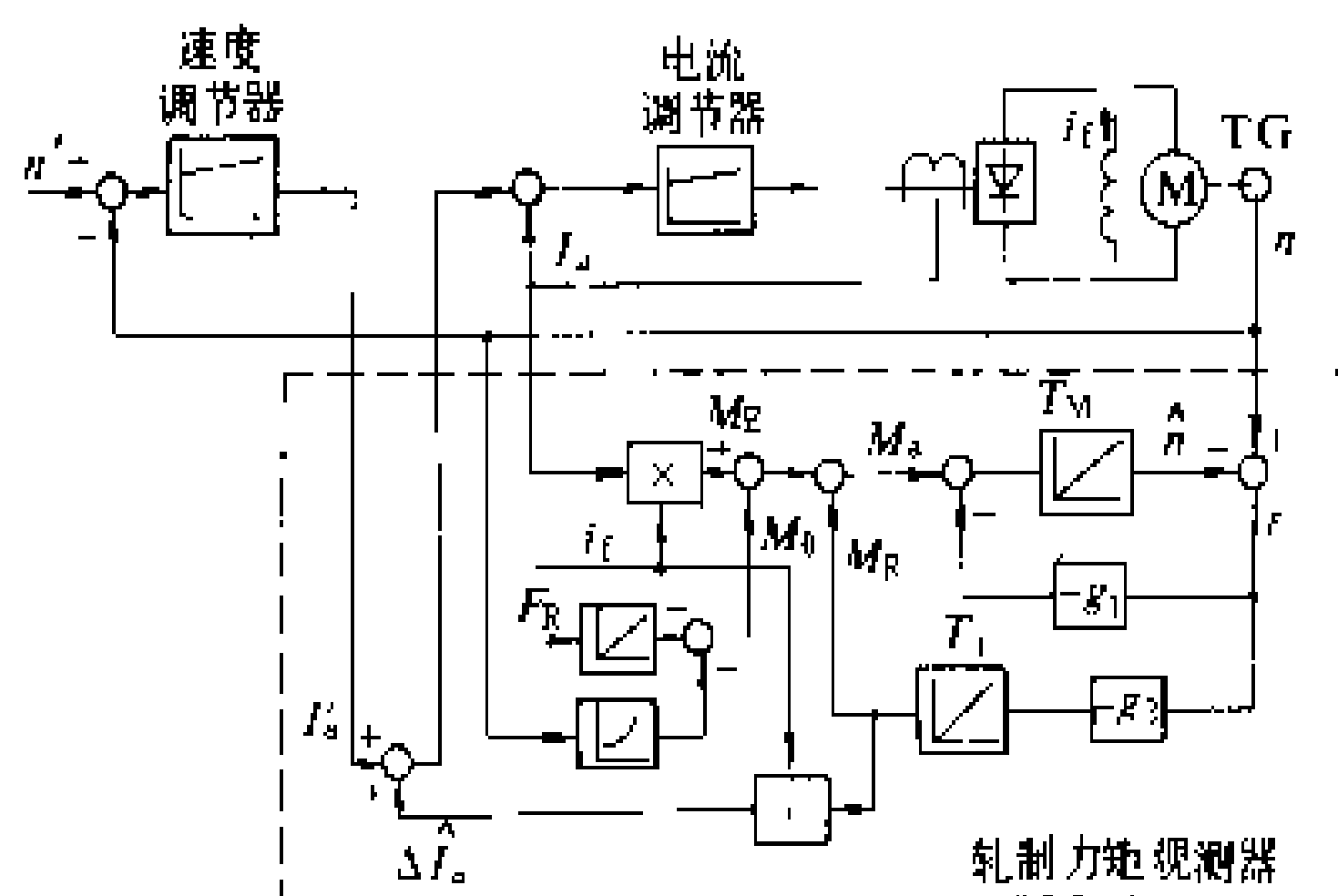


图 2 精轧机电控系统框图

i_f —主电机励磁电流; I_a —主电机电枢电流; n —主电机实际转速; P_R —轧制压力; n' —主电机转速设定值; M_E —主电机电磁力矩; M_0 —空载及摩擦力矩; M_a —加速力矩; M_R —轧制力矩观测值; ΔI_a —相应轧制力矩的电流观测值; \dot{n} —转速观测值; T_M —主电机积分时间系数; g_1, g_2, T_1 —观察器动态增益及时间常数

压下装置用液压或电动方式驱动,通过压下螺丝上下移动轧机上轧辊以取得不同的轧件厚度。在电动压下装置中左右两个压下螺丝由两台直流电动机单独传动。或者通过装在轴上的电磁离合器使两个螺丝联动。电动机用可逆变流器供电,除通常的闭环控制外,还通过压下的位置传感器组成模拟式或数字式的位置控制(APC)。自动厚度控制(AGC)主要用以补偿轧件由于温度变化或入口厚度变化所引起的成品厚度偏差。基本工作原理是,根据事先实测各机架弹性变形系数 m 、轧制过程检测的辊缝实际值 s 及轧制压力实际值 P , 计算出口厚度值

$$h = s + \frac{P}{m}$$

当产生偏差时,通过驱动机构修正辊缝值 s 消除厚差。但实际上由于传感器精度和其他外界因素(如轧辊偏心)的影响,用间接测厚公式检测钢材绝对厚度的方法精度不高,在要求保持带钢沿长度方向头尾厚度均匀的场所,通常采用“头部锁定”法,即把各架头部的厚

度作为该架厚度的设定值,然后利用间接测厚公式计算厚度对头部锁定的偏差值。由于这种头部锁定间接测厚的 AGC 系统简单、无时滞,已为大量轧机所采用,框图如图 3 所示。有些轧机还加有前馈控制 AGC

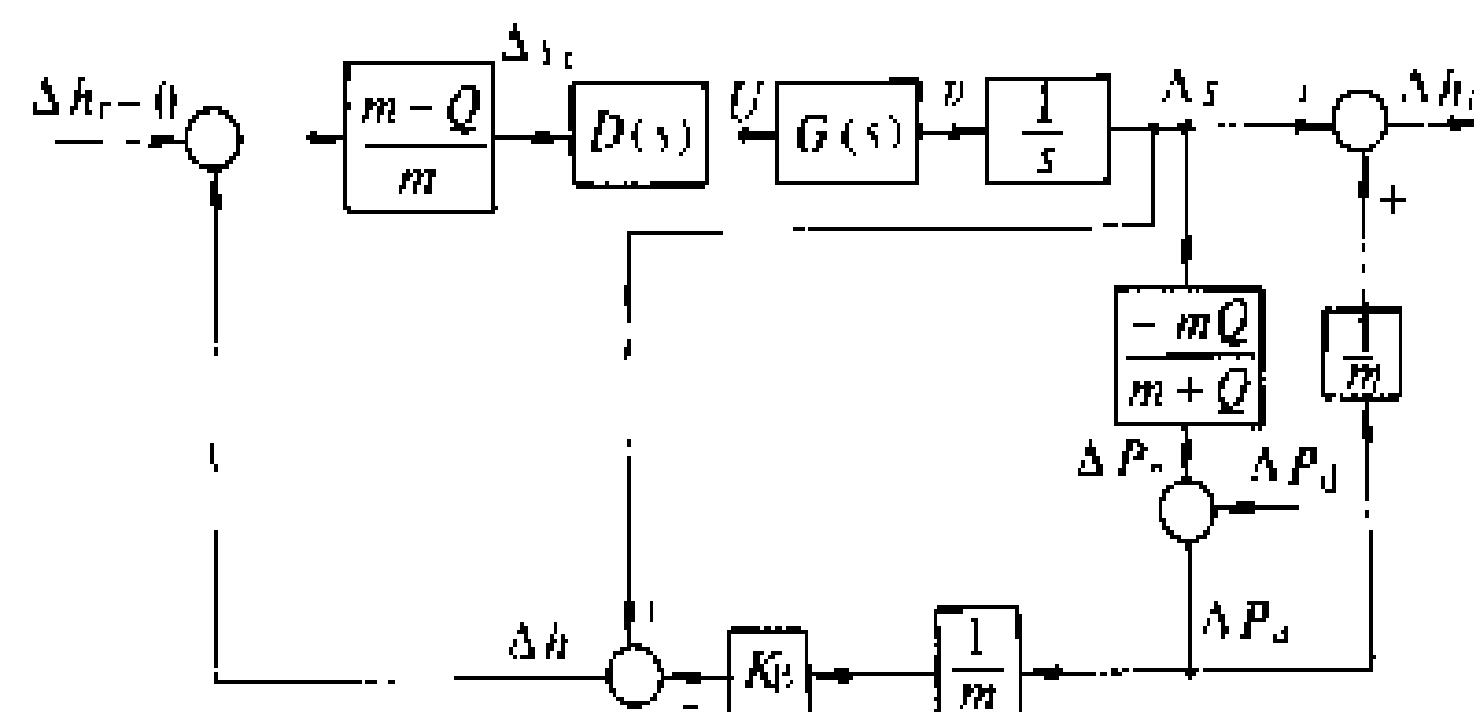


图 3 间接测厚 AGC 系统框图

Δh_r —给定的厚度偏差,令 $\Delta h_r = 0$; Δh_s —实际的厚度偏差; $\Delta h'$ —间接测厚得到的出口厚度偏差; Δs_r —需要的轧辊位移; Δs —实际的轧辊位移; ΔP_s —轧辊位移产生的轧制力变化; ΔP_d —外界干扰引起的轧制力变化; U —压下调速系统修正信号; v —轧辊位移速度; m —轧机弹性变形系数; Q —材料塑性变形系数; $D(s)$ —校正环节传递函数; $G(s)$ —压下调速系统传递函数

和 X 射线测厚监控 AGC。前者主要是通过测得的上一架出口厚度偏差,经过延时事先修正下一架辊缝设定值以消除厚差,这样可避免反馈控制 AGC 中由于系统惯性造成的调节过程中的厚度不均,提高成品厚度合格率;后者通过设在精轧后的 X 射线测厚仪检测实际厚度,并修正和监控精轧各架的辊缝设定值,使各架出口的厚度更接近头部锁定或规格要求的目标值。

卷取机和其他辅助传动电控系统 每台卷取机的卷筒,由单台直流电动机传动,可逆晶闸管变流器供电。卷取时随卷径加大降低卷筒转速,维持线速度和张力恒定。控制系统采用转速—电流双闭环和非独立弱磁控制,类似于通常的直流调速系统。外环转速反馈设定值取自精轧末架测速发电机输出电压(正比于带钢线速度),以保证在头部咬入以及加速卷取时卷筒和精轧机组同步,并且亦兼用于卷筒冲动和断带时的速度保护。内环电流环用以调节卷取时的张力,通常在头部咬入和建立张力后速度调节器饱和,其输出限幅值作为电枢电流设定值供电流调节系统。张力调节器按一定的控制原则(如最大力矩原则)随卷径和磁通改变电流设定值(即速度调节器输出限幅值),以维持恒定卷取张力。按照运动方程,电动机电磁力矩为

$$M_E = \frac{D}{2i} T + M_0 + M_a + M_b = C_M \Phi I_a$$

式中 T 为卷取张力; M_0 为空载及摩擦力矩; M_a 为加速力矩; M_b 为板材弯曲变形力矩,在热轧卷取机中,特别是厚板卷取时该项不能忽略; i 是机械减速比; C_M 、

Φ 、 I_a 分别为转矩常数、每极磁通和电枢电流。实现张力不变的条件是,电枢电流随卷径和磁通按 $I_a \propto \frac{D}{\Phi}$ 变化;然后再适当加入 M_0 、 M_1 、 M_2 对应的电枢电流分量。磁通信号 Φ 可通过检测励磁电流和磁通模拟曲线取得;卷径信号 D 通常通过检测钢板线速度(速度设定值) v_1 和卷筒转速(卷筒测速机输出电压) v_n , 通过“卷径记忆”装置计算钢卷直径 $D = \frac{v_1}{v_n}$ 间接取得。

热连轧机的辊道;除部分用交流电动机传动速度不调的以外,近年采用单独直流电动机传动的已日渐增多,大多由可逆晶闸管变流器作为电源的分段母线供电。根据工艺和调速需要,一台可逆变流器可为数台和数十台辊道电动机供电,控制系统一般是电压(或转速)反馈的双闭环系统,接于公共供电母线上的每台辊道电动机还设有单独的过载短路保护。中间辊道即粗轧末架至精轧前辊道以及精轧末架至卷取机前的输出辊道,为实现速度同步或终轧及卷取的自动温度控制,须有较高的调速要求。同时辊道长度很长,又采用单独传动,辊道电动机台数多,环境恶劣,但维修方便。一般常采用交流电动机传动变频电源供电。对于变频电源可采用交流变频发电机组通过调节交流发电机原动机转速实现调频;或者采用近年出现的交流-交流直接变频或交流-直流-交流变频调速装置,其中中间辊道速度较低,频率变化范围通常在 17 Hz 以内,已出现有采用晶闸管交流-交流变频装置供电;输出辊道速度较高,频率变化范围最高达 70 Hz,近年已出现采用新型自关断元件的脉宽调制系统(PWM)。

计算机控制系统 用以实现轧机高质量、高速度和高度自动化生产的关键技术。随着微电子和计算机技术的发展,使轧机计算机控制日趋完善并发展到较新的水平。控制范围从加热炉板坯库至卷取机钢卷运输链全线,主要包括炉区控制、粗轧区控制、精轧区控制和卷取机控制。炉区范围内,由计算机确定每个钢坯所应装入的加热炉,按照装入板坯的宽度自动确定推钢机工作行程并监视推钢机的定位和工作顺序,以传感器配合实现炉内板坯跟踪及按程序确定加热炉的出料顺序;粗轧区范围内,计算机对粗轧各架的辊缝、轧速、立辊侧压开度等实行自动预设控制(APC)以及可逆机架程序控制、出口机架最小张力控制等;精轧区范围内,对精轧各架辊缝、轧速、侧导板、开度等实行自动预设控制、终轧温度控制和确定轧制加速度、自动厚度控制、张力和活套高度控制等。卷取区范围内,对卷取机速度张力及夹送辊、助卷辊开度等实行自动预设控制(APC),设定输出辊道各段速度,并根据温控模型和实测轧线上的温度选择设在辊道上冷却水

喷嘴的段数和个数,实现卷取温度控制(ATC),改善产品物理性能。此外,在水平较高的计算机系统中还包括有轧制节奏和板坯跟踪的图象显示以及全厂合同处理等生产控制和管理的部分功能。为实现上述功能热连轧机的计算机系统多采用分级分散系统。

根据自动化程度和生产要求,最新设计的轧机最多分成四级:生产管理、生产控制、过程控制以及基础自动化。生产管理级通常采用 1~2 台通用计算机执行合同管理、编制生产计划;生产控制级采用 1~2 台小型机执行物料跟踪及制定轧制计划;过程控制级一般采用 3~4 台多位微型机执行设定计算及生产过程的自适应最优化控制等,基础自动化级可由数台多位微型机及可编程序控制器(PLC)组成,主要执行各种逻辑和直接数字控制(DDC)。

总之,随着轧机生产能力的不断提高,对其提出更加高速、高质、高效的要求,热连轧机的传动及自动化程度亦不断的发展提高,其主要的标志之一是,控制回路和自动化系统趋于采用各种型号的微型机和可编程序控制器,利用丰富的计算机软件取代旧式的控制器,实现更为复杂的控制并有利于硬件生产的标准化。随着计算机的大量推广使用,亦为采用现代控制理论中的若干较新的控制方法(如系统观测和辨识等)创造了条件。随着大功率变流技术和微机控制系统的不断发展和完善,在轧机主传动和主要副传动系统中采用各种晶体变流器和交流电动机取代传统直流电动机的趋势已日益明显。这无疑将有助于轧钢电动机的生产以及供电电网各类指标的改善。深信随着上述各项技术的出现,热连轧机的控制必将朝着更新和更加完备的目标发展。

(马济来)

renti chudian

人体触电 (shock on the humanbody)

当人体直接接触电气设备的带电部分或人体不同部位同时接触不同电位时发生的电流通过人体的现象,又称触电。发生触电时,人体中流过的电流对人体造成伤害,甚至危及生命。触电对人体的伤害主要有电击和电伤。

人体触电时,电流通过人体内部造成内部器官的创伤,称为电击。人体遭受电击后,引起的主要病理变化是心室纤维性颤动、心脏麻痹及呼吸中枢衰竭等。电流直接或间接造成对人体表面的局部伤害称为电伤,包括烧(灼)伤、电烙印(又称电斑痕)和金属溅伤等。电烙印指人体与带电体接触的部位,皮肤变硬,形成灰色、黄色肿块,并与所接触的带电体形状相一致,是低压触电时常见的现象。



电流对人体的伤害 分为热性质、化学性质、辐射性质和生理性质。

(1) 热性质：当电流通过人体时，因人体有电阻，会产生较大的热量，使触电者烧伤甚至局部出现炭化。另一种热伤害是高温电弧造成的烧伤或灼伤。

(2) 化学性质：电流引起人体内部组织发生的电解现象，严重情况下会引起人体机能失常。

(3) 辐射性质：由于磁场能量对人体的辐射作用，导致头晕、乏力和神经衰弱等症状。

(4) 生理性质：由于电流的强烈刺激，使人体内部组织的正常机能受到破坏，发生肌肉收缩，引起心室颤动或窒息等生理病变。

电流对人体的伤害程度与通过人体电流的大小、通过人体电流的持续时间、通过人体的途径和电流(频率)的种类、人体的电阻及人体的健康状况等因素有关。

德国人 G. 毕格米亚(G. Biegelmeier)主张将电流范围和通电时间分为低于和超过心脏搏动周期两种状况，将50、60Hz交流电流范围分为6个界区，表1为

表 1 触电电流、时间和人体的生理反应

电流范围	50、60Hz 交流电流有效值 (mA)	通 电 时 间	人 体 的 生 理 反 应
O	0~0.5	连续也无危险	没有感觉
A1	0.5~5 (摆脱电流)	连续也无危险	开始有感觉，手指、手腕等处有痛感，没有痉挛，可以摆脱带电体
A2	5~30	以数分钟为极限	痉挛，不能摆脱带电体，呼吸困难，血压升高，但仍属可承受的极限
A3	30~50	由数秒到数分	心脏跳动不规则，昏迷，血压升高，引起强烈痉挛，时间过长即引起心室颤动
B1	50~数百	低于心脏搏动周期	虽受强烈冲击，但未发生心室颤动
		超过心脏搏动周期	发生心室颤动，昏迷，接触部位留有电流通过的痕迹(搏动周期相位与开始触电时刻无特别关系)
B2	超过数百	低于心脏搏动周期	即使低于搏动周期的通电时间，如在特定搏动相位开始触电，会发生心室颤动，昏迷，接触部位留有电流通过的痕迹
		超过心脏搏动周期	未引起心室颤动，将引起恢复性心脏停跳，昏迷，有烧伤死亡的可能

毕氏分析所得到的数据和与之相对应的人的生理反应。

各种形式的电流和静电电荷对人体均有伤害作用，见表 2。从表可见，人体对直流电流和高频电流承受力较强，而 25~300 Hz 的交流电对人体的伤害最严重。

表 2 人体对各种电流的反应

电流种类	人 体 反 应
直流电流	最小感知电流 3.5~5.2 mA；平均摆脱电流 51~76 mA，引起心室颤动电流约为 500 mA
高频电流	1000Hz 以上，伤害程度明显减轻。1000 Hz 的最小感知电流为 8~12 mA，平均摆脱电流为 50~75 mA，引起心颤电流约 500 mA
冲击电流	雷电、静电电荷产生的冲击电流给人以冲击感，并引起强烈肌肉收缩。10~100 μs 时间内，接近 100 A 的冲击电流将不致引起心室颤动致命
静电电荷	对人体的伤害与带电体电容和电压有关，静电电荷产生的冲击电流引起心室颤动的界限为 27 W·s

注：1. 最小感知电流和平均摆脱电流有两个值，前者为女性的，后者为男性的。
2. 工频（50、60 Hz）交流电流的影响见表 1。

人体触电的方式 常见的触电有以下四种：①直接接触电。指人体直接接触及带电体的触电。②接触电压触电或跨步电压触电。由于接触电压或跨步电压而引起的人体触电。③感应电压触电或静电触电。人体承受感应电压或静电电压所造成的触电。④剩余电荷触电。电气设备的相间和相对地之间都存在着一定的电容，由于电容具有储存电荷的特性，因此在电源刚断开时设备上仍保留一定的电荷，即剩余电荷，如果此时人体触及这些设备，就会发生剩余电荷触电。

防止触电措施 发生触电事故的原因主要是用电人员缺乏安全用电知识、违反操作规程以及电气设备漏电和年久失修等。针对事故发生原因采取的相应措施有：加强安全用电知识的教育和宣传；严格遵守操作制度和安全规程；电气设备的安全质量和安装应符合标准；加强设备的日常维护和检修等。

(陈全盛)

rongduanqi

熔断器 (fuse) 当电流超过规定值并经一定时间后，以它本身产生的热量使一个或几个特殊设计的熔体熔断，以分断电路的一种开关电器(见低压电器)。熔断器由熔体、底座等部件组成。熔断器具有体

积小,使用方便以及价格低廉等优点,在低压配电系统、工矿企业的动力装置、仪器仪表、生活用电线路和电气设备中广泛用作保护器件。

熔体 电路中最薄弱的环节,当过负荷电流或短路电流通过并经过一定时间,由于熔体的发热使它的温度升高,温度上升到熔体材料的熔点时,熔体熔化并产生强烈电弧,电弧熄灭后电路即被分断,借以保护电路的过负荷或短路。由于最早的熔体是做成丝状的,故俗称保险丝。熔体的形状并不限于丝状,更多的采用变截面的片状金属,特别是在额定电流较大时。熔体的材料、尺寸和形状决定了熔断特性。熔体材料分为低熔点和高熔点两类。低熔点材料如铅和铅合金,其熔点低容易熔断,由于其电阻率较大,故制成熔体的截面尺寸较大,熔断时产生的金属蒸气较多,只适用于低分断能力的熔断器。高熔点材料如铜、银等,其熔点高,不容易熔断,但其电阻率较低,可制成比低熔点熔体截面尺寸较小的熔体,熔断时产生的金属蒸气少,适用于高分断能力的熔断器。改变截面的形状和尺寸可改变熔断器的熔断特性。

熔断特性 熔断器具有反时限特性,即过载电流小时,熔断时间长;过载电流大时,熔断时间短。所以,在一定过载电流范围内,不同的熔断器有不同的熔断特性曲线(见图1),以适用于不同类型保护对象的需要。

分类 低压熔断器按结构可分为:①开启式熔断器。

图2所示的瓷插式熔断器属于开启式熔断器。其丝状熔体装在瓷插头上,熔体用铜丝或锡铅合金制成,熔体熔断后易于更换。这种型式熔断器的熔断特性不稳定,分

断能力也较低。②无填料密闭管式熔断器。这种型式熔断器的熔体装在封闭的绝缘管内,有时在管子内壁衬有产气较多的材料,以增加熔体熔断时管内的压力来提高分断能力。③有填料密闭管式熔断器。图3所示为一种瓷管封闭式熔断器,其中熔体做成变截面的片状,额定电流大时可用多片并联,熔体装在瓷管内,管内填以石英砂。这种型式的熔断器的分断能力较高,熔断特性较稳定,但只能一次性使用。

熔断器按用途可分为一般用途用、保护电动机用、

保护半导体器件用以及其他特殊用。这些熔断器的保护特性有所不同。例如保护电动机用的熔断器,在电动机正常启动且启动时间不超过规定时间时,熔断器不应熔断。又例如保护半导体器件的熔断器,因半导体器件的过载能力差,出现过载时熔断器应能迅速熔断,故此种熔断器又称为快速熔断器。

(方鸿发)

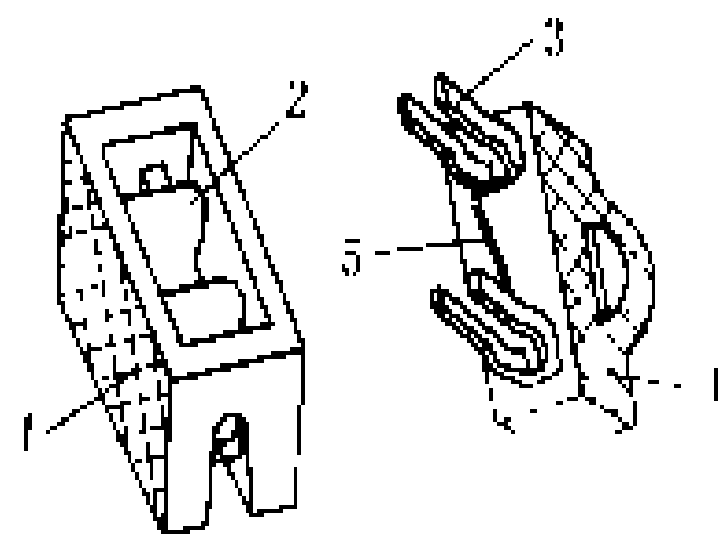


图2 瓷插式熔断器

1—瓷外壳;2—石棉垫;3—触刀;4—瓷插头;5—熔丝

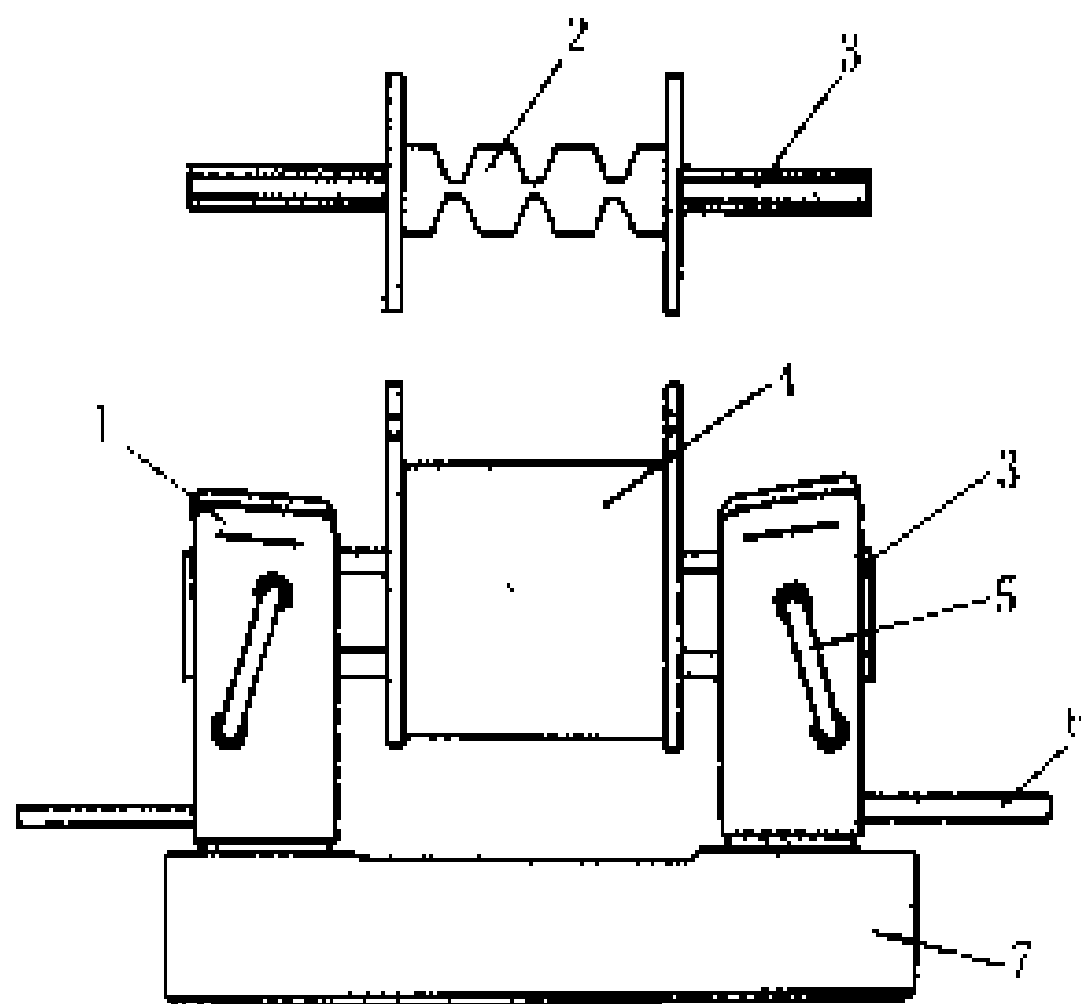
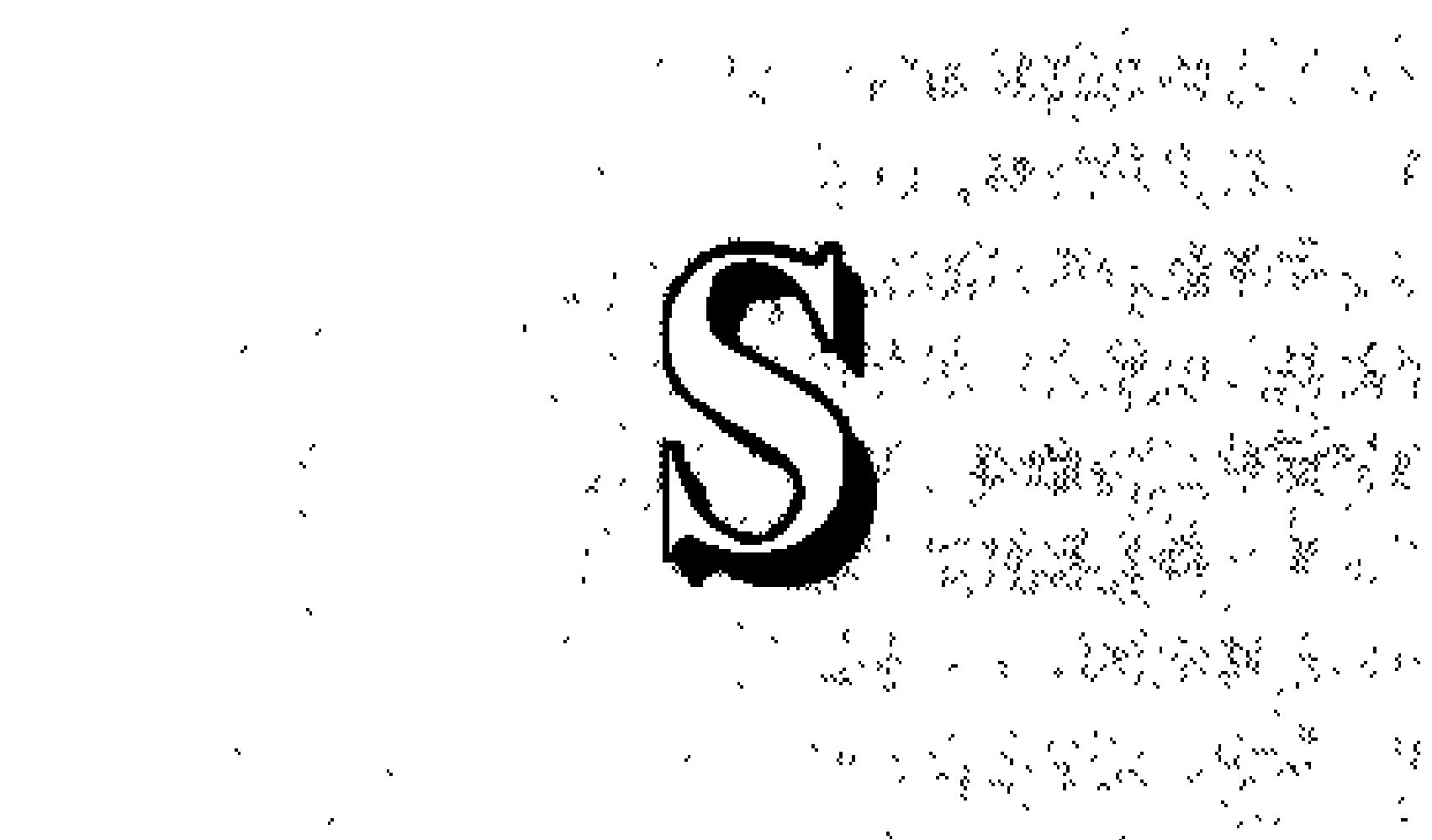


图3 瓷管封闭式熔断器

1—夹头;2—熔体;3—触刀;4—瓷管(内装熔体并填满石英砂);5—弹簧;6—连接端;7—瓷座



sewen

色温 (colour temperature) 当某种光源的光线颜色，等同于或近似某黑色金属块在加热过渡过程中出现的颜色色光时的温度为光源的颜色温度，简称色温，单位为开，符号 K。物理学中，以铁、钨等自绝对零度（-273℃）起始加温，把随着温度增高出现的颜色，每升高 1℃ 时定为 1 K，加热至 800 K 时便出现可见的暗红色，再由红热渐渐到白热，于是其色温也渐渐地升高，直至 5600 K 时，即与日光相似，加热至 25000 K 时，将呈天蓝色。色温高，蓝光成分多；色温低，红光成分多。

日光光源色温的变化情况如下：

日出时的阳光	1850 K
日出 0.5 h 后的阳光	2380 K
日出 1 h 后的阳光	3500 K
日出 1.5 h 后的阳光	4000 K
日出 2 h 后的阳光	4400 K
下午 4 时半的阳光	4750 K
下午 3 时半的阳光	5000 K
正午直射的阳光	5300~5500 K

天空散射光中蓝色成分较多，其色温如下：

均匀的云遮日	6400~6900 K
云雾弥漫的天空	7500~8400 K
带有薄云的蓝天	13000 K
万里晴空的蓝天	19000~25000 K

人造光源种类很多，常见的几种色温如下：

蜡烛的火焰	1850 K
煤油灯	1900 K
照像用强光灯	3400 K
万次闪光灯	5300~6000 K
钨丝白炽灯	2800~2900 K
碘钨灯	3000~3200 K
各种荧光灯	2700~6500 K
金属卤化物灯	5500 K
氙灯	5500~6000 K

光源的色温与其实体的温度无关，而是红、蓝颜

色之间的互变度。例如在色温为 3400 K 的照像用强光灯泡上，蒙上一层浅蓝色透明纸，其色温会立即升高至 4000 K 或更高。而在灯泡上改换蒙上一层浅黄色透明纸，其色温会马上降低到 2500 K 或更低。

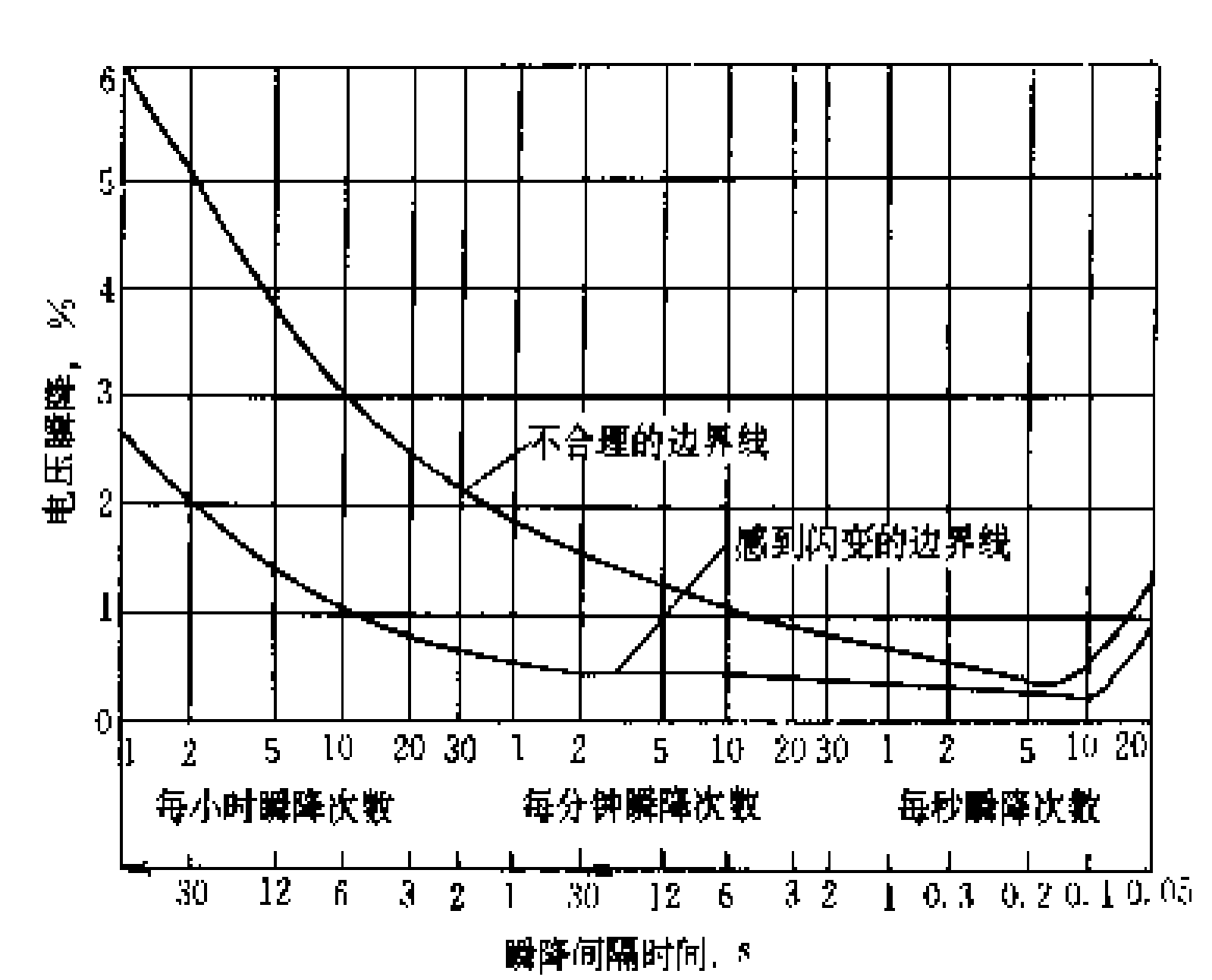
电气照明的各种设施是从多种光源中，选择最适当的光源加以利用。白炽灯的色温约在 3000 K 或稍低些时，会产生温暖的感觉。昼光的色温约为 6500 K 或高一些，光源色温在 5000 K 以上，就会产生凉爽的感觉。由于人们爱好不同，对于光的颜色要求也不相同，一般情况下，照度低的地方希望色温低的光色，照度高的地方希望色温高的光色。

(吕光大)

shanbian

闪变 (flicker) 由于用电负荷急剧波动所引起的电压波动，使白炽灯的光通量随之发生频繁变动的现象。在供电系统中出现冲击负荷时，使同一供电点的用户供电电压波动，在一段时间内电压持续波动，将使白炽灯的光通量输出急剧变动，灯光闪烁，给人的视觉造成不适。

由于人的视觉对闪变的反应不完全相同，因此闪变有一个容许范围。按电压波动的幅度和频繁程度规定的感到闪变的边界线和闪变达到不合理程度的边界线见图。例如，对于象绘图这样精细工作的照明，要求闪变范围接近能感到闪变的边界线；对于一般场所如仓库库房的照明，则闪变范围可以接近达到不合理程度的边界线。



电压闪变关系曲线

闪变对人的感觉影响决定于电压波动值 U_1 ，等效闪变值 ΔU_{10} (或闪变电压限值 ΔU_1)。一些国家都制订其允许值标准。

电压波动值 (U_1) 指相邻两个电压波形极值电压均方根值之差，以额定电压的百分数表示。中国规定的

U 允许值如表 1。

表 1 中国规定的电压波动值

额定电压 (kV)	U (%)
10 及以下	2.5
35~110	2
220 及以上	1.6

中国规定的 ΔU_{10} 的允许值见表 2。

表 2 中国规定的等效闪变值

应用场合	ΔU_{10} (%)
对照明要求较高的白炽灯负荷	0.4(推荐值)
一般性照明负荷	0.6(推荐值)

(王秉宗)

shanguangdeng

闪光灯 (photoflash lamp)

通过玻壳内发光物质的燃烧或机械电子控制方式能产生一个周期很短暂的强光输出的电光源。由于闪光灯能在很短的时间里发出象闪电一样很强的光, 具有相当高的亮度, 因此在摄影、频闪观测和航标信号等方面得到了广泛的应用。

闪光灯主要有燃烧式闪光灯、电子闪光灯、氙气闪光灯。

(1) 燃烧式闪光灯: 灯的结构和引燃线路如图 1

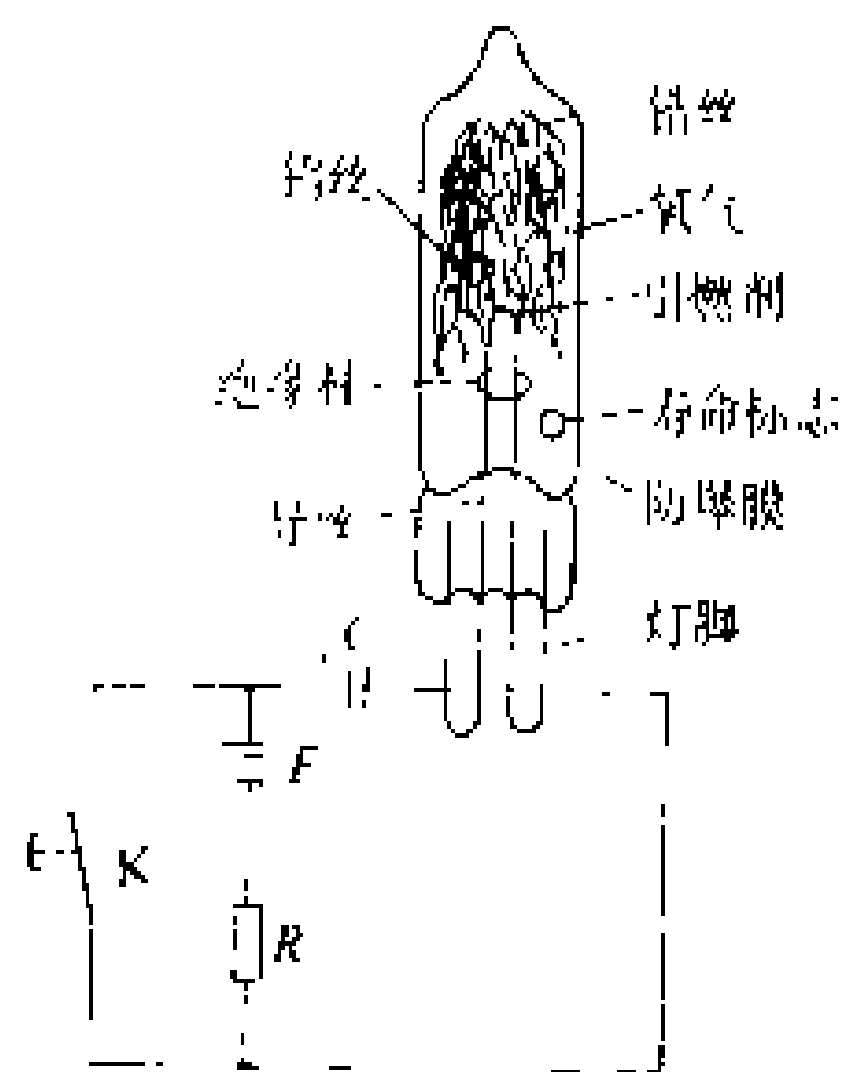


图 1 燃烧式闪光灯的结构和接线图

所示。当按下开关 K, 电容器迅速通过钨丝放电。由于放电电流很大, 钨丝很快达到白炽状态。在钨丝两端引燃剂的作用下, 钨丝便在氧气中剧烈燃烧, 以至发出耀眼的强光。

为了防止玻壳炸裂和改善发光的颜色, 在玻壳外表面涂敷不同颜色的合成树脂保护膜, 如使用蓝色保护膜, 可将灯の色温由 3800 K 提高到 6000 K。当然, 也可采用无色透明保护膜, 但要配以相应的滤色片。

燃烧式闪光灯的类型很多, 一般根据灯丝通过电流后, 发光材料的发光时间的变化, 可分为如表所示的 MF、M、FP⁺、FP 和 S 型五种。闪光灯与照相机同步连接有软线连接和机械连接两种。闪光灯用干电

闪光灯泡时间数据 (ms)

类型	峰值时间	半峰值时间	有效时间
MF	13±3	8±3	约 12
M	20±5	15±5	约 15
FP ⁺		10±4	最低 25
FP		15±6	最低 25
S	30±3	20±3	约 20

随即闪光。这种闪光灯是一次性, 所以又称单次闪光灯。由于灯的闪光亮度高, 耗电量少, 体积小, 携带使用方便, 可作为摄影光源, 特别适用于农村、山区等无电地区。

(2) 电子闪光灯: 带电子装置的放电灯。图 2 所示万次电子闪光灯, 玻壳通常用硬质玻璃做成, 电极由芯柱和螺旋钨丝组成, 并涂有电子粉, 灯内充有氙气, 电极与镍杆相连接, 利用电子装置形成很高的电压迫使氙气电离后产生的电子由阴极趋向阳极而放电, 发出很强的闪光。电子闪光灯的光色接近日光, 适用于彩色摄影, 发光时间约为 1 ms, 可用来拍摄一般的动和静的景物。若拍摄高速运动物体, 还可采取措施, 缩短闪光

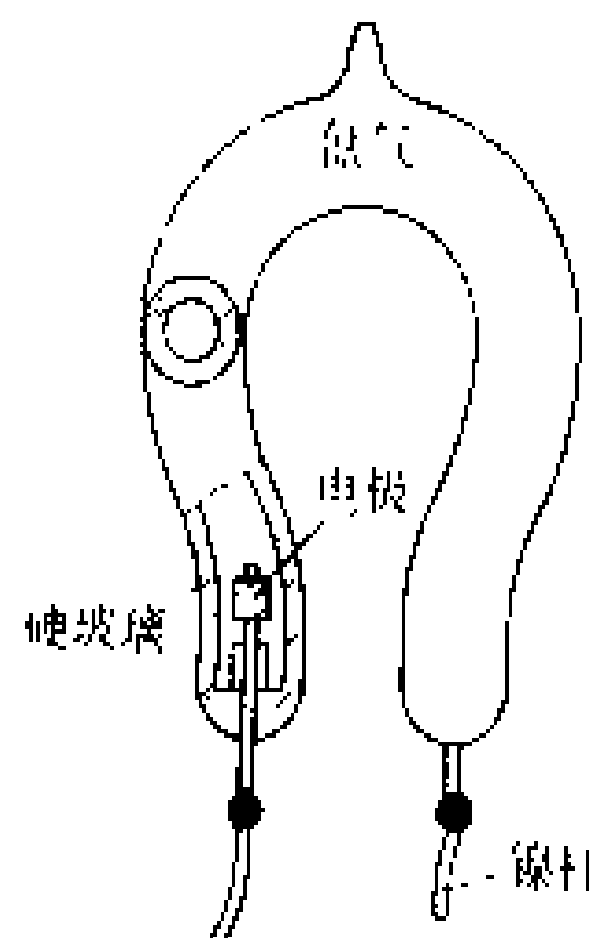


图 2 SW-8 型万次闪光灯

时间。由于灯的体积小、重量轻、供电简便, 是新闻摄影中最常用的电光源。为了使闪光灯直接与照相机组合在一起, 后来又开发了微型电子闪光灯。这种灯的工作原理和电子闪光灯一样, 只是采用微型的器件后, 灯的结构更加紧凑, 携带与使用都十分方便。

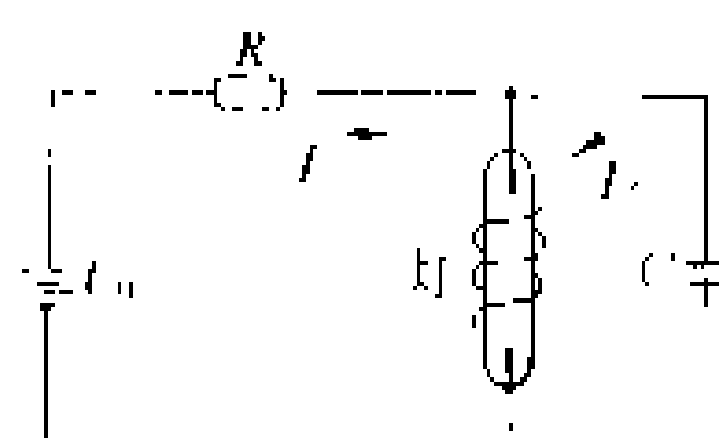


图 3 脉冲氙灯的工作线路图

(3) 氙气闪光灯: 又称脉冲氙灯。图 3 和图 4 为灯的工作线路和结构示意。直流电源电压 U_0 通过充电电阻 R 将贮能电容 C 充电到工作电压 U_c 。 U_c 一般低于灯的自击穿电压

U_1 , 而高于启动电压 U_2 。在脉冲氙灯管外绕有金属丝, 灯工作时

在金属丝上施加高压脉冲, 使灯产生电离火花线, 因火花线降

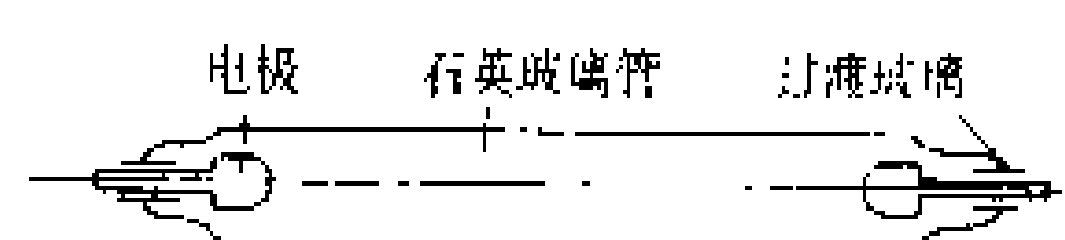


图 4 脉冲氙灯的结构示意图

低了灯的内阻, 使电容 C 中贮存大量的能量在极短的时间里通过脉冲放出, 产生很强的闪光, 而且光色接近

日光。灯的单次闪光次数高达 5000~50000 次,平均使用寿命为 100~200 h,在航空闪光观察和演播室摄影等方面得到了广泛的应用。

参考书目

复旦大学电光源实验室. 电光源原理. 上海: 上海科学技术出版社, 1979

(肖辉乾)

shexiangji

摄像机 (pickup camera) 把被摄景物的光学图像转换为视频电信号并产生相应的声音电信号的设备, 又称电视摄像机 (television camera)。摄像机与录像机一同工作时, 还可以利用摄像机内控制系统控制录像机的启、停。摄像机是使用磁带将被摄景物记录下来的。它可通过录像机将图像和伴音信号加到电视接收机上, 以显示出被摄景物和声音, 也可直接通过电视接收机显示图像和声音。

分类 按使用目的不同, 电视摄像机可分为电视广播用、业务用和家用 (便携式) 三类。还有一些特殊用途的摄像机, 如红外摄像机、微光摄像机、水下摄像机等。按摄像机内所用摄像器件的不同可分摄像管型和固体摄像器件型, 这两种又有黑白和彩色之分, 彩色摄像管型又分为单片式和三片式。

组成与原理 摄像机是由光学系统、摄像管、扫描系统、视频放大器、音频放大器、录像器以及电源等部分组成, 其框图见图 1。光学系统由镜头 (普遍采用变焦距镜头) 和滤色片组成, 它的作用是使所摄景物在摄像管的光电靶上形成清晰的图像。为了在变换

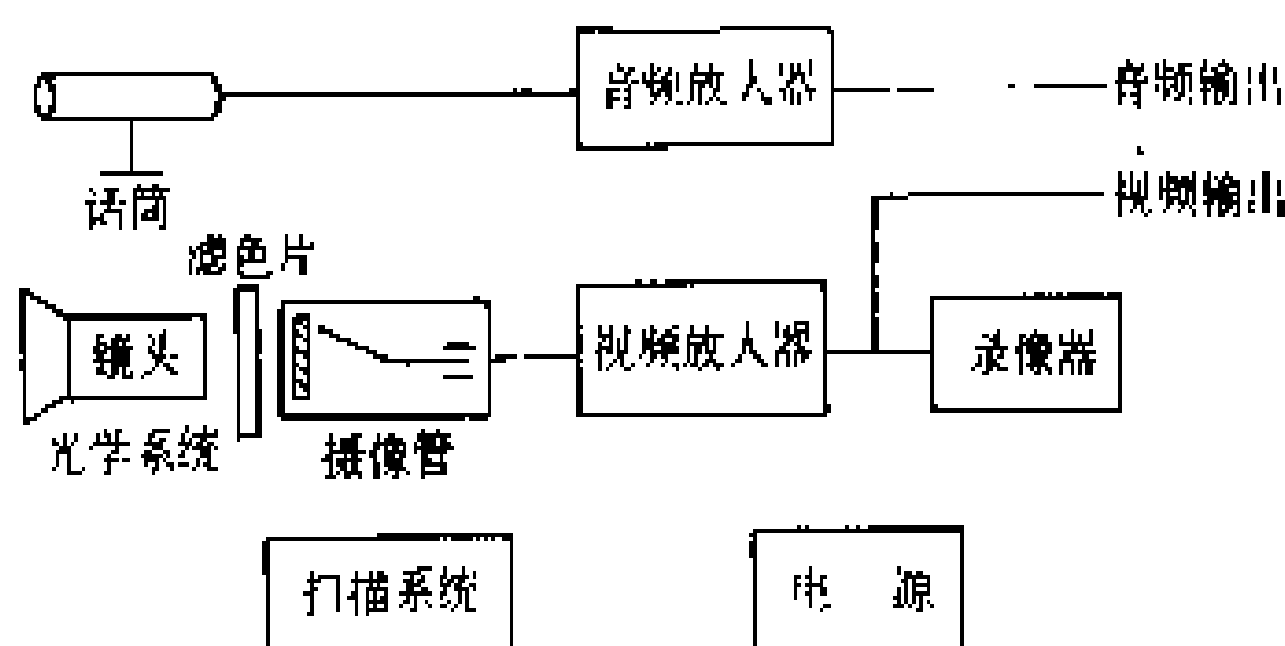


图 1 单管摄像机的组成

色温时操作方便, 滤色片在一般情况下都设置在镜头同摄像管之间, 使用中可按需要转换不同的色温档位。摄像管的作用是将光学系统在光电靶上形成的光学图像转换成电视图像信号。光电靶靠镜头一侧是信号板, 是一层喷涂在玻璃板上的透明金属导电层; 另一侧是光电导层, 由蒸镀在信号板上具有光电效应的半导体光电材料构成, 其电阻率的变化量与光通量成比例。由于所摄景物反映在光电靶上的明暗亮度不同, 靶上的各部分的电导率也产生不同程度的变化, 由此变换成相应的电信号, 然后经过放大及整形处理

后送出, 图 2 是上述光学系统和摄像管的示意图。扫描系统用来产生摄像管中电子束偏转所用的偏转电压 (静电偏转) 或偏转电流 (磁偏转)。录像器的功用如同照相机的取景器, 用以观察所摄景物的清晰度、明亮度、取景范围及景深等。视频和音频放大器用来将摄像管输出的电信号和随机话筒所接收到的音频信号进行放大。电源则是用来提供摄像机各部分电路所需要的各种工作电压。

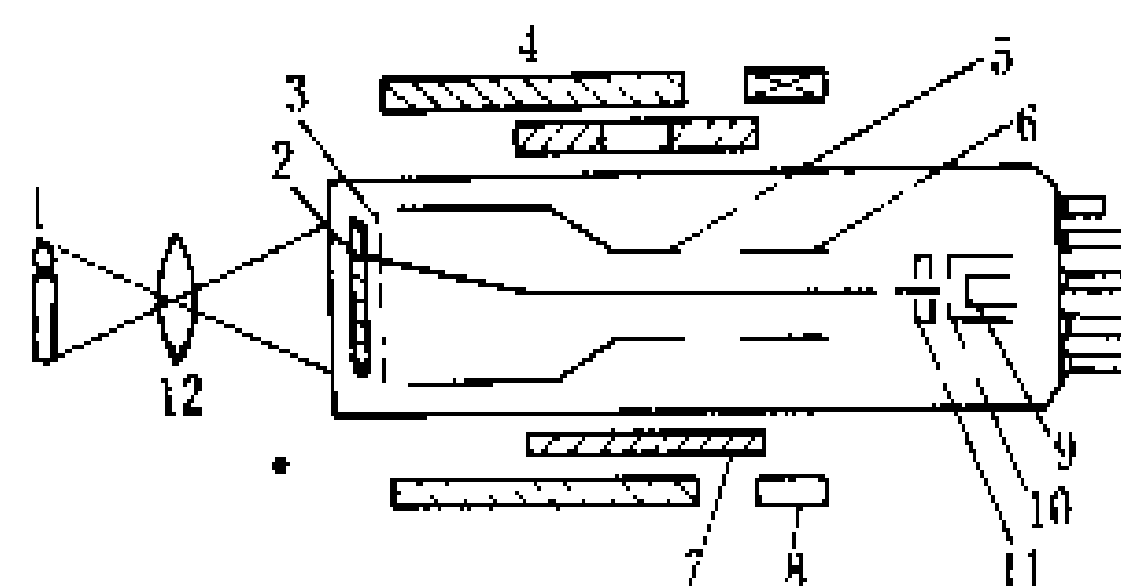


图 2 光学系统和摄像管

1—被摄景物; 2—信号板; 3—光电导层; 4—水平偏转线圈; 5—垂直偏转线圈; 6—第一阳极; 7—第二阳极; 8—聚焦线圈; 9—灯丝; 10—阴极; 11—控制极; 12—光学镜头

技术性能 摄像机的技术性能大致可归纳为电性能及功能两方面。电性能主要有电灵敏度、信杂比 (S/N)、清晰度 (分辨力)、重合精度 (对三管或三片彩色摄像机而言) 等; 功能直接关系到使用、调整和维护, 它包括诸如自动功能等, 多数摄像机皆有自动白平衡 (AWB)、自动黑平衡 (ABB)、自动光圈 (AI)、自动中心调整功能。有些摄像机还备有自动聚焦 (AF)、系统自动调整、系统故障诊断等功能。在使用摄像机时, 必需的配套设备是电源、镜头及有关电缆。

随着电视应用领域的不断扩大及元器件的小型化、集成化、微型计算机化, 摄像机正向着小型化、固体化、自动化、摄录一体化、高性能化的方向发展。其中 CCD (Charge Coupled Device, 即电荷耦合器件) 摄像机将是电视摄像机的主要发展方向。

(张国忠)

shiredai dianji

湿热带电机 (moist-tropical motor) 为湿热带地区生产的专用电机。其安装尺寸、电压、频率及各项基本性能指标与普通电机相同。

湿热带电机的使用环境条件是: 海拔高度不超过 1000 m, 年最高气温 40℃, 年最低气温 0℃, 最湿月份空气的月平均最大相对湿度 (该月的平均最低温度 25℃) 为 95%; 有凝露, 有霉菌, 冷却水的最高温度为 33℃。

湿热带电机除环境温度较高, 需要根据环境温度相应降低电机各部分的温升外, 还有一个防潮防霉问题, 必须采用良好的防护结构、防潮抗霉且耐热性能

(吳 著)

油化学工业包括石油炼制工业和以石油(油品)为原料进行深度加工的石油化工工业;简称石油化工。石油化学工业是 20 世纪中叶兴起的一门新兴工业。

石油化工生产周期长、连续运行，生产条件苛刻，多高温高压、易燃易爆、有害有毒介质，生产过程中一旦供电中断，会造成冲塔冒顶，大量跑油、跑汽（气），使铂、铑等贵金属催化剂结焦、中毒、跑损，管网堵塞，温度、压力平衡破坏，全厂生产过程打乱，以至大量物料被迫放空，污染环境，轻则造成重大经济损失（一个大型或特大型石油化工企业停产1天的产值损失达数百万元至数千万元之巨），重则导致重大设备损坏，并引起火灾、爆炸甚至人身伤亡。因而石油化工工业对供用电系统和设备的安全、可靠性有较高的要求。

常减压蒸馏 石油炼制工业和石油化工工业的第一道工艺。生产工艺为：原油泵将原油从原油罐抽取后经管道输送到电脱盐罐；罐内水平排放数排金属管组成的极板，通常在极板间施以 12~35 kV 的交流电，当原油在极板间流过时，在电场力的作用下，原油水分中含有的 Mg、Na、V、As 等带电杂质离子下降、凝聚、分离；除去水分和杂质的原油（通常要求杂质含量降到 5 ppm 以下，以免深度加工时，使催化剂

图 1 石油化工生产工艺流程

乙烯 用石油原料裂解制取乙烯的工艺，大多用管式裂解炉生产。工艺过程为：从常减压侧线出来的轻柴油用原料油泵经换热器预热至 155°C ，加入一定量的稀释蒸汽后送入裂解炉对流段，在对流段物料被加热到 538°C ，进入辐射段再次加热到 798°C 裂解，得到包括主要产品乙烯、丙烯、丁二烯和其他副产品的裂解



气；裂解气直接进入废热锅炉迅速冷却到 450～550℃，再进入急冷器中用 180℃急冷油冷至 249℃后进入油洗塔，在塔顶经急冷水回流冷却至 40℃送入裂解气压缩机，压缩到 3.7 MPa 送入冷箱，在高压下进行深冷分离，同时在压缩过程中将裂解气中部分较重烃类分离出去；进冷箱冷却至-165℃的裂解气液体先进入氢气-甲烷分离罐，分离出氢气和甲烷；塔底釜液送入脱乙烷塔，将 C₂ 馏分与 C₃ 以上馏分分开，塔顶采出的 C₂ 馏分经加氢脱除炔烃后进入乙烯精馏塔，从塔侧线抽出液态乙烯产品进入乙烯球罐贮存。除了裂解气压缩机、丙烯压缩机和乙烯压缩机是蒸汽透平驱动外，其余机泵全部是电机驱动。一座年产 30 万 t 乙烯的石油化工厂，约有机泵 380 台，总容量 6700 kW，每生产 1 t 乙烯耗电约 280 kW·h。

用电特点 石油化工生产流程长，从原料投入到出产品需要较长的时间。如以石脑油（粗汽油）为原料的大化肥（年产 30 万 t 合成氨）装置，从投入原料油开始到产出尿素须 3 天时间；年产 30 万 t 乙烯装置从投料到打通流程产出乙烯要 6 天时间。石油化学工业用电具有用电负荷曲线较平稳，用电负荷率较高及可进行热电联产等特点。

用电负荷曲线较平稳 由于生产的连续性和均衡性，用电负荷较平稳，正常情况下日用电负荷率在 95%左右；年用电负荷率在 0.85 以上（因装置检修期负荷骤降影响了负荷率）；自然功率因数约为 0.85。石油化工厂的典型负荷曲线如图 2、图 3 所示。

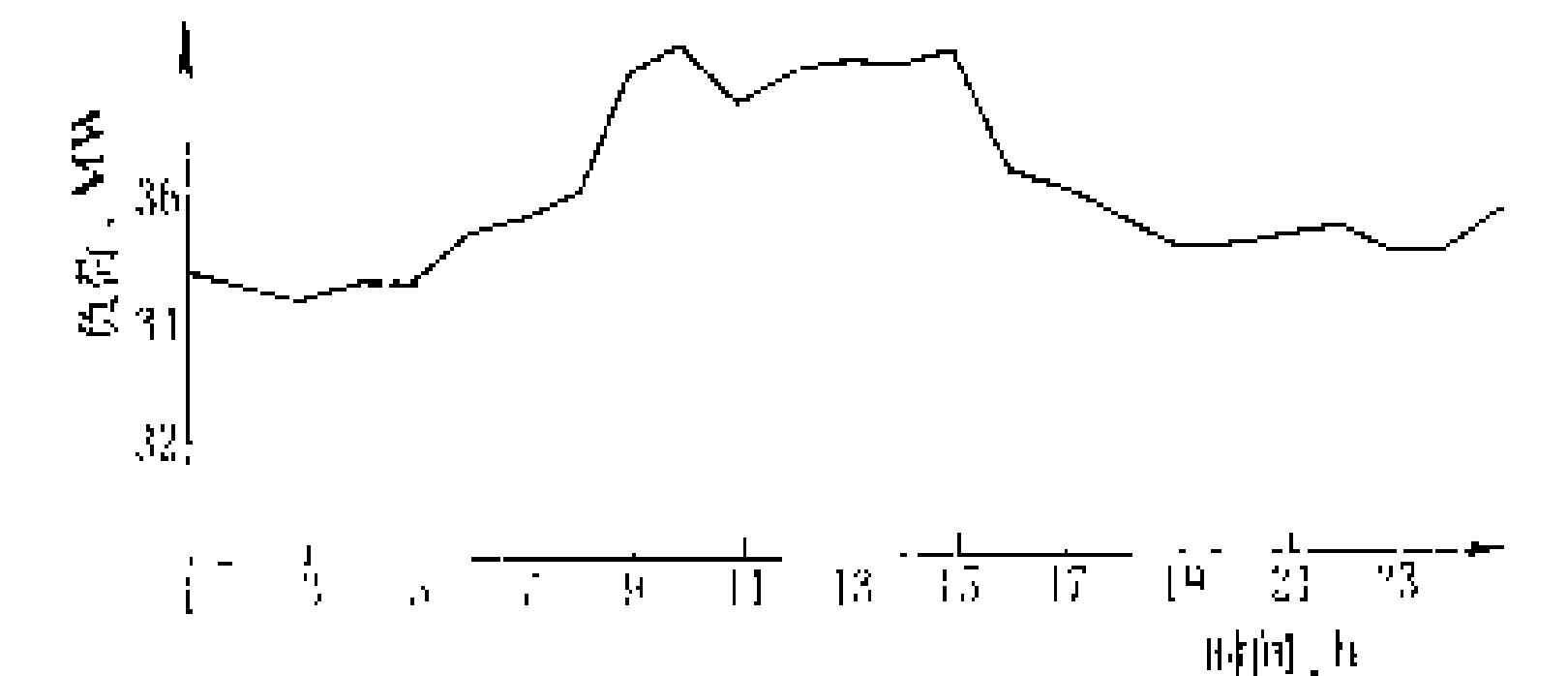


图 2 某石油化工厂日用电负荷曲线

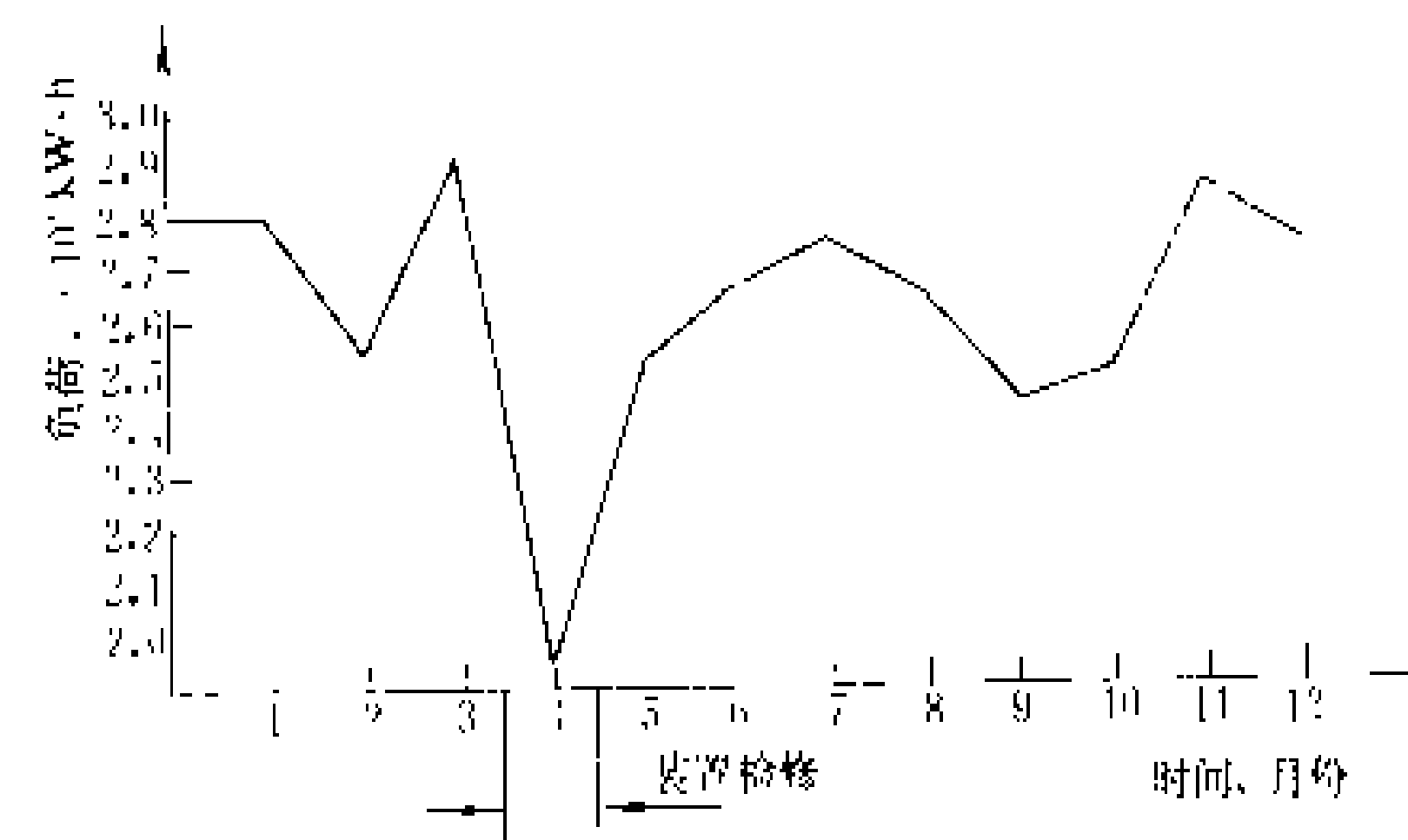


图 3 年产 30 万 t 乙烯装置年用电负荷曲线

用电单耗差异大 石油化工产品的用电单耗，又

称单位产品（产值）耗电，因为受装置加工能力大小、原料供应状况等因素的影响而有较大的差异。表中列出了石油化学工业一些主要生产装置、产品的典型用电单耗。

石油化学工业主要生产装置、产品典型用电单耗 (kW·h/t)

装置或产品	单耗	装置或产品	单耗
常减压蒸馏	6.54	顺丁橡胶	292.80
催化裂化	31.61	聚 酯	463.34
催化重整	70.51	腈 纶	2208.06
烷基化	103.11	涤纶长丝	3253.17
乙 烯	278.84	涤纶短丝	559.80
高压聚乙烯	926.24	合 成 氨	12.00
聚 丙 烯	501.93	尿 素	13.18

热电联产 石油化学工业生产中需要对物料进行伴热或对设备、管道进行吹扫，蒸汽的需用量较大（如年产 30 万 t 乙烯装置耗用高压蒸汽达 4.2 t/h），因而石油化工企业多设有自备电站（厂），实行热电联产（见火力发电卷 热电联产）。对一般的石油化工企业来说，由于蒸汽消耗量有限，而且受季节影响（如夏季气温高，用汽量小），热电站多设背压机组或 2.5 万 kW 以下的抽汽汽轮发电机组，运行方式是“以汽定电”，电是作为蒸汽能级利用的产品。对于特大型和大型石油化工企业来说，一方面蒸汽消耗量大（达每小时上千吨），另一方面对供电的可靠性要求也高。自备电厂既可作为蒸汽和热力的主要来源，也可作为一个可靠的电力供应点，一旦外部电网中断电力供给时，自备电厂在与电力系统解列后，可独自承担本企业全部或大部分电力负荷，避免重大损失。近几年来，随着中国石油化工企业生产的发展和国家节约能源政策的要求，一些特大型和大型石油化工企业自备热电厂的装机容量已增大到十几万千瓦至数十万千瓦，使企业的供电可靠性进一步提高，能源利用更趋合理。

对供电的要求 由于石油化工生产的特殊性，对供电系统的可靠性有较高的要求，每个石油化工企业一般设有一个总降压变电所，进线电压大都为 220 kV 或 110 kV，少数为 35 kV；进线电源为两个及以上的独立电源，当某一回进线电源故障停电时，其余的电源能保证供电。对一些重要生产装置和突然停电会引发重大事故的装置通常设有保安电源（如催化裂化装置），有的设事故发电机（如年产 30 万 t 合成氨生产装置、加氢裂化装置等），在供电电源中断 8 s 左右，发电机即可自动投入运行。

（童剑浩）

shíyóu jí tiānránqì kāicǎi yòngdiàn

石油及天然气开采用电 (electrical energy utilization of petroleum and natural gas development)

石油及天然气的开采对象是埋藏在地下种类繁多、特点各异的油和气。地下的油、气是由油井开采出来的。开采地下油气资源,从勘探到开发的各个阶段,都必须用专门的石油钻井设备钻井才能开采出来。因而油气开采用电主要与地质构造、埋藏深浅和开发年限有关,具有油田开发初期吨油耗电小,中、后期将迅速增大,用电负荷曲线平稳,自然功率因数低等特点,对供电可靠性要求高,对石油的成排机采油井、集输油设备、注水站等用电负荷不允许停电。

油气田分布 世界上地下石油贮量以中东地区最为丰富,天然气贮量以苏联最为丰富。1989年探明剩余石油可采贮量在300亿t以上的有沙特阿拉伯;100亿t以上的有伊朗、伊拉克和科威特;50亿t以上的有苏联、委内瑞拉和墨西哥。探明天然气贮量40万亿 m^3 以上的有苏联;10万亿 m^3 以上的有伊朗。

中国石油及天然气分布面积广阔,分为6个含油地区:东部主要包括东北、华北地区;中部主要包括陕、甘、宁及四川地区;南部主要包括苏、浙、皖、闽、粤、湘、赣、滇、黔、桂十省区;西部主要包括新、青两省区及甘肃西部地区;西藏主要包括昆仑山脉以南,横断山脉以西地区;海上主要包括东南沿海大陆架及南海海域。

主要工艺技术和方法 一般油田都有许多油层,有的油田油层高达几十个。根据油层的性质、厚度和分布情况的不同,将油田划分成几个开发层系,用各自一套井网进行开采。油田开采的主要工艺系统包括采油工艺系统、集输和贮运系统,注水工艺系统,天然气集输外供系统等。

采油工艺系统 分为自喷和机械采油两个系统。自喷系统包括采油树、加热炉、油气分离器等。采油工艺技术向适合于深井、海上、环境恶劣地区的开采条件和提高单井产量和延长老油区油井寿命等方向发展。机械采油系统是在自喷系统内增加抽油机和抽油泵、潜油电泵、水力活塞泵等用电设备,大多数设备的单机容量在200kW及以下,运行数量很多,用电同时率高。

集输和贮运系统 主要包括接转油站、联合站、污水处理站、原油稳定和轻油回收、油库等。中国使用的输油泵为Y型离心油泵,压力高,电机容量的选型按输油管线直径和输油量匹配,多为800~1000kW及以下。

注水工艺系统 油田开采的早期采用向地下人工注水补偿地层能量的开采方式,有利于提高产量和采

收率。中国普遍采用这种开采方式。注水工艺系统包括水源、净化站、注水站、配水间及水井。供水泵随扬程流量而异,中国使用的注水泵为D型多级高压离心泵,单机容量在2000kW及以下,是油田主要耗电的大型用电设备。

天然气集输外供系统 主要用电设备为天然气压缩机,一般用同步电动机驱动。中国使用的同步电动机单机容量最大为6000kW。

用电特点 具有用电单耗差异大、负荷曲线平稳以及自然功率因数低等特点。

用电单耗差异大 油田地质构造完整、埋藏浅,单耗(又称吨油耗电)低,反之则单耗高。一般油田在开发初期,地层的能量大,自喷井多,产量高,吨油耗电较低;随着地下能量的下降,日产量也下降,注水量和油矿场油气处理量逐年增加,吨油耗电直线上升;至开发后期吨油耗电甚至为初期的几倍至几十倍。如中东地区油田贮量丰富,油田规模大,埋藏浅,地质构造完整,单井产量高,递减缓慢,电力消耗很少。又如苏联20世纪60年代初投入开发的秋明油田,1966年吨油耗电仅为 $2.5\text{ kW}\cdot\text{h/t}$,1973年增至 $13.1\text{ kW}\cdot\text{h/t}$;1944年投入的采用早期注水方式开采的杜玛兹油田,1950年吨油耗电 $6\text{ kW}\cdot\text{h/t}$,1965年增至 $32.1\text{ kW}\cdot\text{h/t}$,1974年增至 $165\text{ kW}\cdot\text{h/t}$ 。

中国主要油气田已转入中后期开采和开发新技术应用时期,机械采液量和注水量不断增加,综合含水上升,全国平均吨油耗电1976年为 $33.6\text{ kW}\cdot\text{h/t}$,1980年增至 $54.3\text{ kW}\cdot\text{h/t}$,1990年增至 $124.56\text{ kW}\cdot\text{h/t}$ 。

负荷曲线平稳 由于油气田属连续生产,日负荷率高,日用电负荷曲线平稳;受气候和地下水水位的影响,冬季用电最多,春季次之,夏、秋季较少,高低差约20%。

自然功率因数低 油气田用电具有点多、面广、线路长、配电变压器数量多、异步电动机数量多的特点,一般自然功率因数仅有0.6~0.7,需装设的无功补偿容量大。

对供电的要求 油气田用电负荷级别:油气集中处理站、管输用矿场油库、外输压气站、轻烃总库和成排机采油井等的用电负荷为一级负荷;铁路外运的矿场油库、集油站、脱水站、注水站、天然气增压站、集气压气站、污水处理站、水源系统、水井、工业锅炉等用电负荷为二级负荷;油气田的边远低产油井、站,配水间及其他用电负荷为三级负荷。长输管道的用电负荷分级:长输管道的首末站(含分输站),不能越站的中间站、自动化监控中心、通信站的用电负荷为一级负荷;能越站的中间站及其加热站的用电负荷为二级负荷;维修及其他用电负荷为三级负荷。

较大面积停电会使大批油井、水井停产、停注，集输油泵停输；停电时间较长会使地层压力下降、油井砂堵、水井回灌、集输管线“凝管”、油罐冒顶等，打乱油田正常生产秩序，短时间难以恢复。由于各油田原油特性和凝固点不同，停电受损的程度和恢复生产的难度也不同。一般说来，寒冷地区冬季停电损失较大，即使是短时间停电，在停电范围内也很容易造成集输管线凝固堵塞，被迫关井停产。对稠油和高凝油的油田，一年四季对供电可靠性要求都极高。

(王泰富)

shijian kongzhiqi

时间控制器 (time controller) 控制家用电器整机工作时间或某个工作过程运行时间的装置，又称定时器。时间控制器由定时机构、传动或转换机构、执行机构等部分组成。

工作原理 由定时机构发出指定时间信号，通过传动或转换机构，将时间信号传递给执行机构并使其动作，控制电路按指定的时间接通或关断，以实现对整个工作和某个工作过程的时间控制。

分类 按其用途可分为洗衣机定时器、电风扇定时器、电冰箱化霜定时器、微波炉烹调定时器、录像机录放定时器等。按其工作方式可分为机械式、电动式和电子式。

(1) 机械式定时器：以发条为动力，通过钟表机构使触点开关动作，控制电路的接通或关断，多用于洗衣机、电风扇、电烤箱等家用电器中。机械式定时器的走时精度受零部件加工精度及传动机构磨损等因素制约，工作时会产生不同程度的噪声。

(2) 电动式定时器：以微型同步电机或罩极式电机为动力，通过传动轮带动凸轮机构使触点开关动作来接通或关断电路，多用于洗衣机、电风扇、电冰箱、电饭锅等家用电器中。

(3) 电子式定时器：主要由电子延时线路或石英振荡器等元件组成的定时电路，通过转换电路控制执行元件(无触点开关、继电器等)对被控对象实现时序控制。

性能参数 定时器的主要性能参数有定时时限和定时精度。①定时时限是定时器设定的时间限制范围。不同家用电器的定时时限不同，一般是以分钟、小时、日为单位。②定时精度是定时器实现所设定的时限精确度。

电子式定时器其定时时限、定时精度和可靠性都优于机械式和电动式定时器，故多用于高级家用电器中。

(张国忠)

shipin gongye yongdian

食品工业用电 (electrical energy utilization of food industry)

食品工业是为人类提供食用物品和饮用物品的工业部门。食用物品包括粮食及其加工制品，如饼干、面包和婴儿食品，各种肉禽、蛋类，水果、蔬菜的加工制品，罐头食品；各种冷食、糖果；各种酒类和饮料。

食品工业用电生产产品种和机械化、自动化程度的不同而异。碾米、磨粉以动力用电为主。饼干、面包生产以电加热用电量较大。冷食、饮料和啤酒生产中制冷用电比例超过55%。在碾米、磨面以外的食品生产中，供蒸汽的锅炉房、空压机用电也占有相当比重。

饼干生产用电 饼干生产工艺流程见图1。其主要用电设备是：砂糖粉碎机，化糖锅，面粉输送机，筛

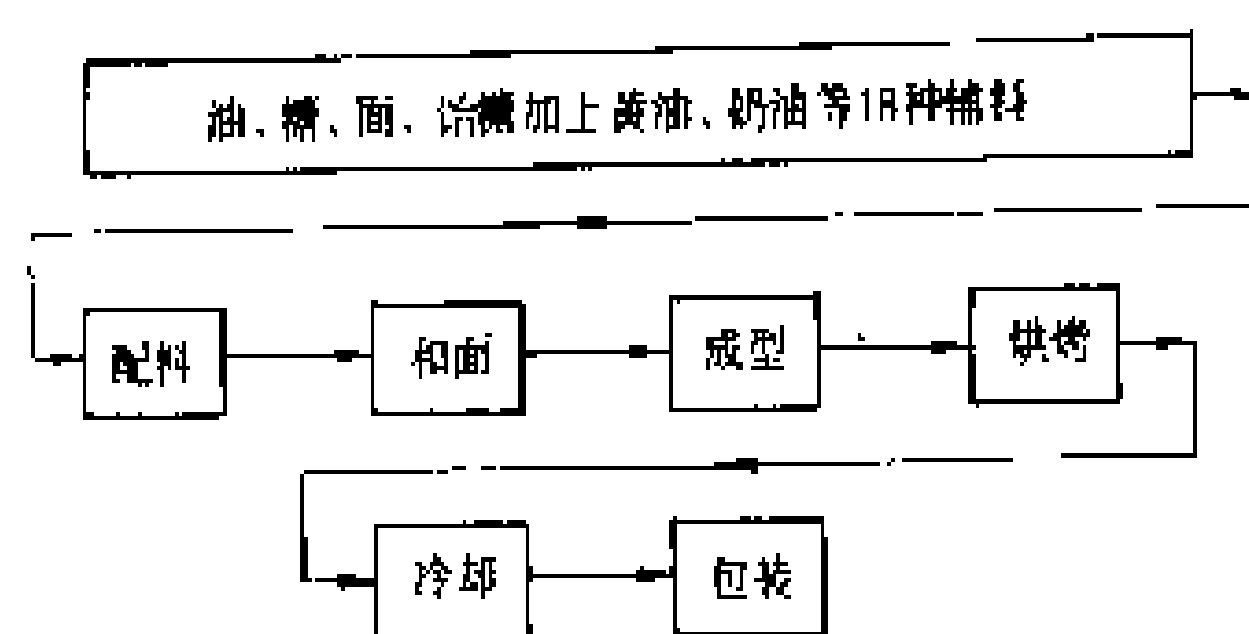


图1 饼干生产工艺流程

粉机，打粉机，和面机，饼干成型机，电加热炉，传送带，冷风机和包装机。

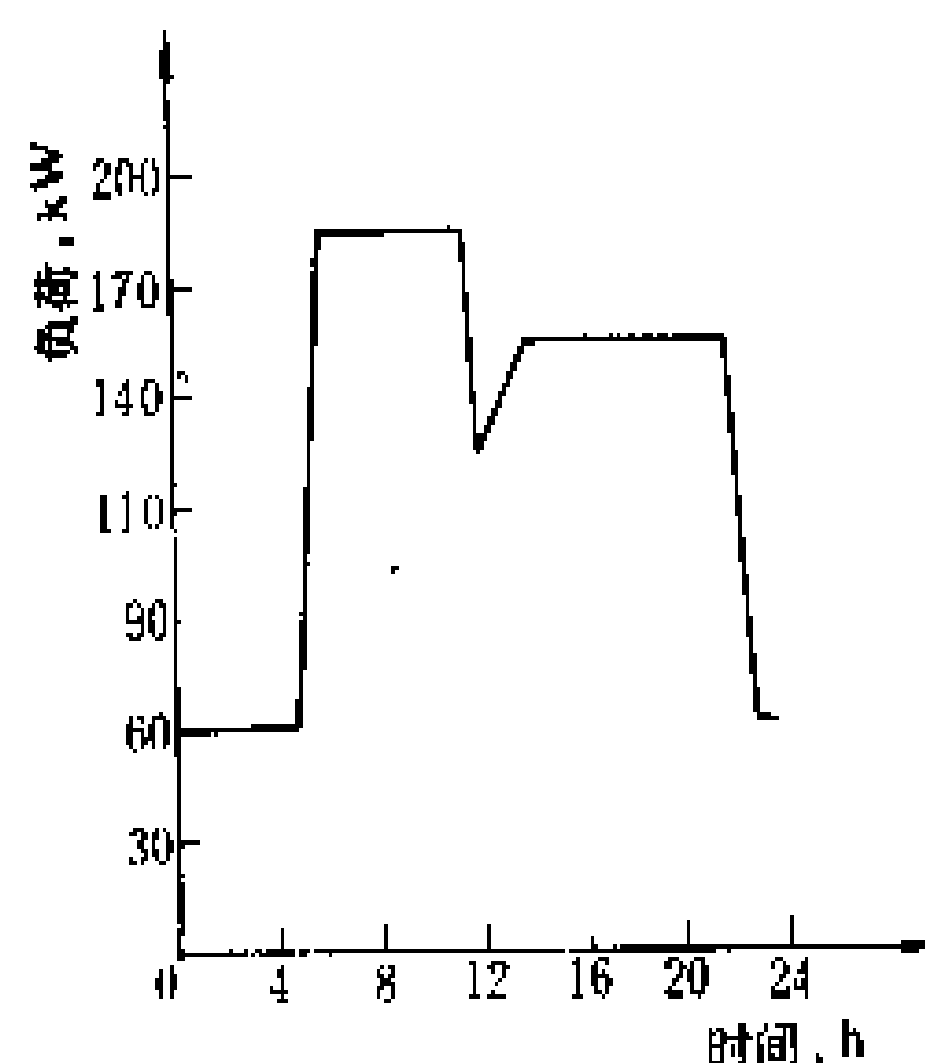


图2 饼干厂日负荷曲线

为70~464 kW·h/t，用电负荷曲线见图2。饼干生产过程中，若停电超过3 min，因传送带停转，饼干将被烧焦，传送带将被退火。

面包生产用电 面包以面粉、糖、奶粉、鸡蛋、油、糖精为原料，工艺流程见图3。其主要用电设备是：上粉系统的风机，调粉机，打粉机和冷水机组，切块机，揉圆机，传送带，电烤炉，冷却转塔，切片机，包装机以及配套的空压机，风机等。

面包生产可根据市场需要安排生产班次，用电负

饼干生产属连续性生产，用电负荷率在85%以上。电加热炉占总装机容量比例较大，自然功率因数一般在0.73~0.83之间。产品单耗因饼干的品种不同而异，低档饼干单耗较高，高档饼干单耗较低。饼干单耗一般为70~464 kW·h/t，用电负荷曲线见图2。饼干生产过程中，若停电超过3 min，因传送带停转，饼干将被烧焦，传送带将被退火。

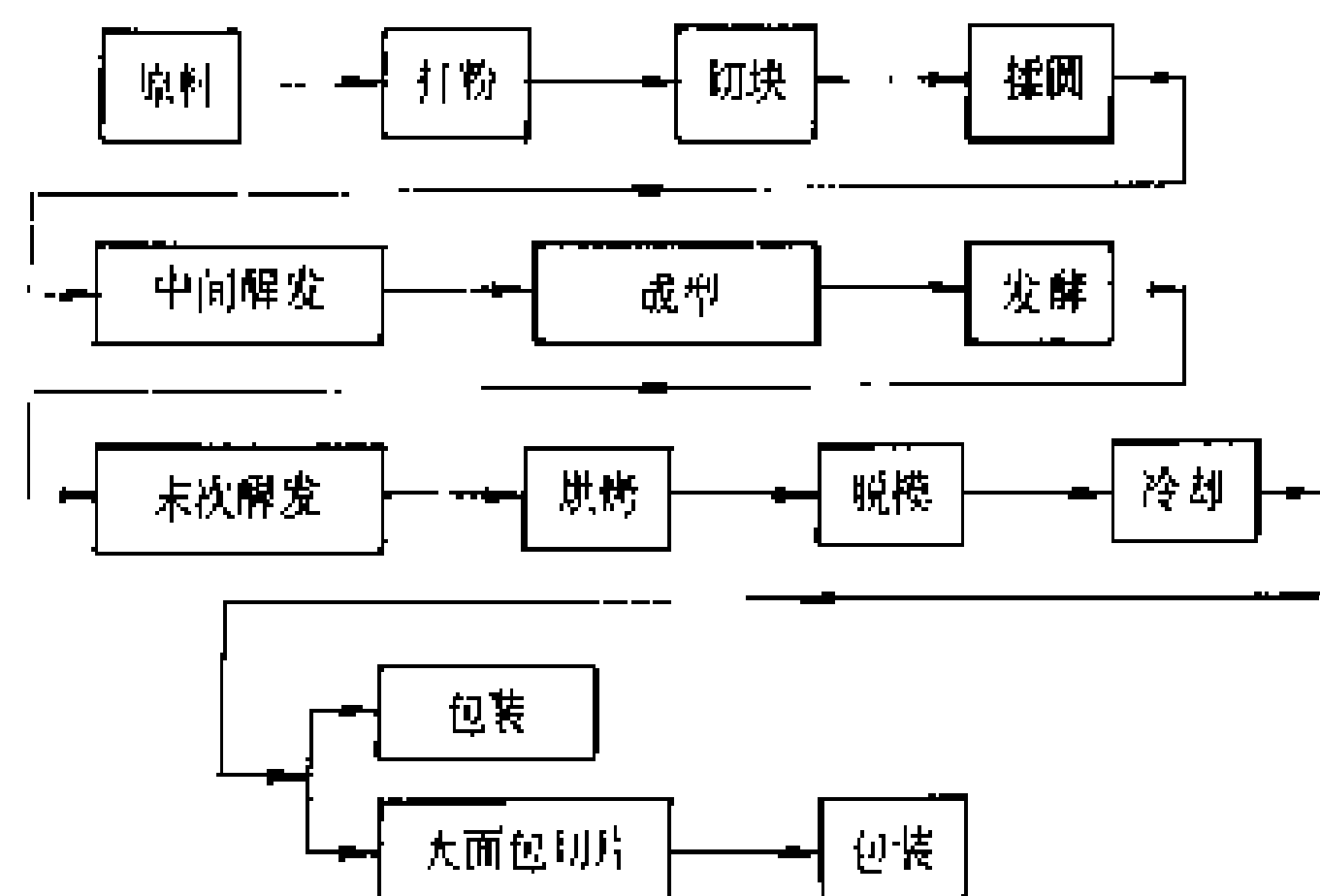


图3 面包生产工艺流程

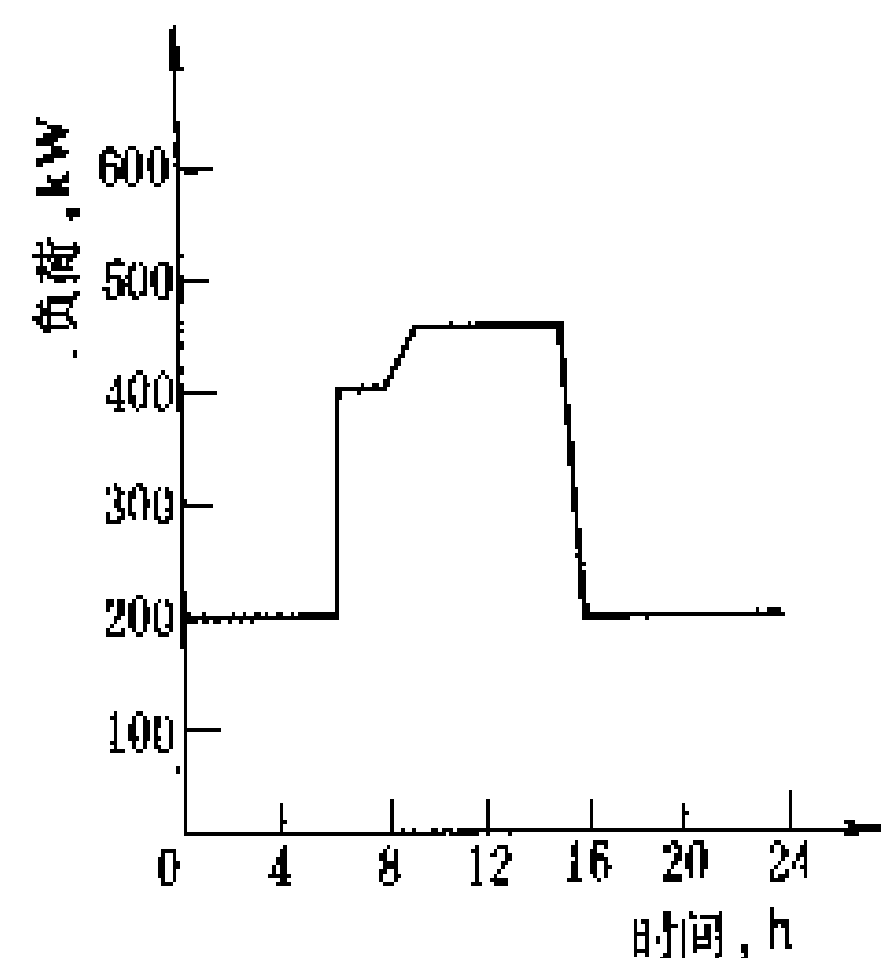
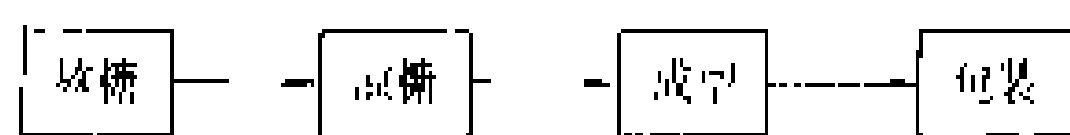


图4 面包厂日负荷曲线

荷率为40%~85%，产品单耗视品种不同而异，一般为400~600 kW·h/t。面包生产的自然功率因数一般为0.78~0.92，用电负荷曲线见图4。面包生产过程中，若停电超过5 min，面包将被烧毁。

糖果生产用电 糖果分硬糖、软糖、禾糖、巧克力四大类，3500多个品种，其中软糖有1800多个品种，其生产工艺、用电设备各有不同。一般糖果生产工艺流程见图5。主要用电设备是熬糖锅，排除熬糖水汽的真空泵，供水及冷却水泵，糖果成型机，包装机。

图5 一般糖果生产工艺流程



巧克力生产工艺流程见图6。主要用电设备有选豆机，远红外烤豆装置，压浆机，五辊研磨机，保温罐，制板生产线，冷却传送带，包装机。

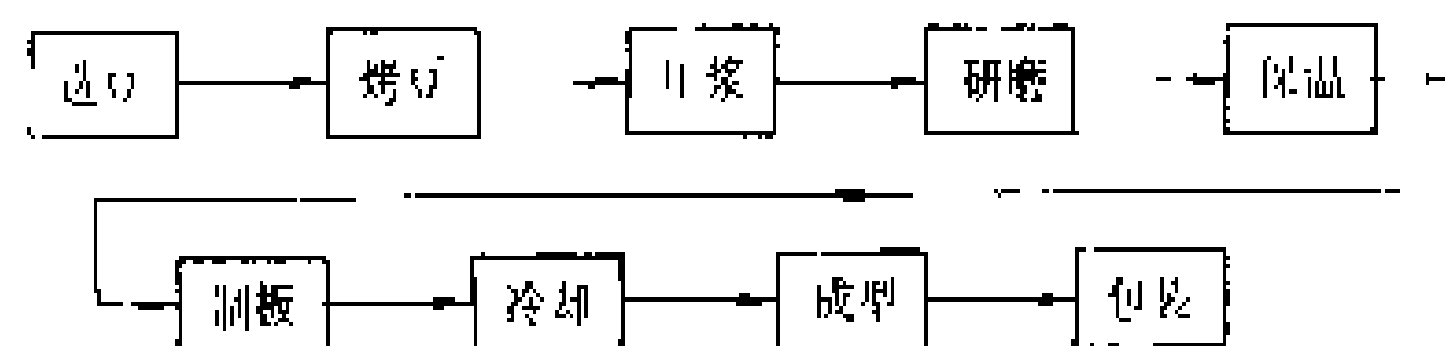


图6 巧克力生产工艺流程

糖果生产属连续性生产，用电负荷率在85%以上，自然功率因数0.68~0.75，产品单耗：硬糖约67 kW·h/t，软糖约42 kW·h/t，禾糖约372 kW·h/t，巧克力约376 kW·h/t。

罐头食品生产用电 罐头食品种类很多，有肉、禽、蛋、水产、水果、蔬菜等大类。其生产工艺和用电设备视品种不同而异。

肉禽类罐头生产工艺流程见图7。主要用电设备为劈骨机、去皮机、封口机、真空泵、水泵、空调系统及配套蒸汽锅炉。

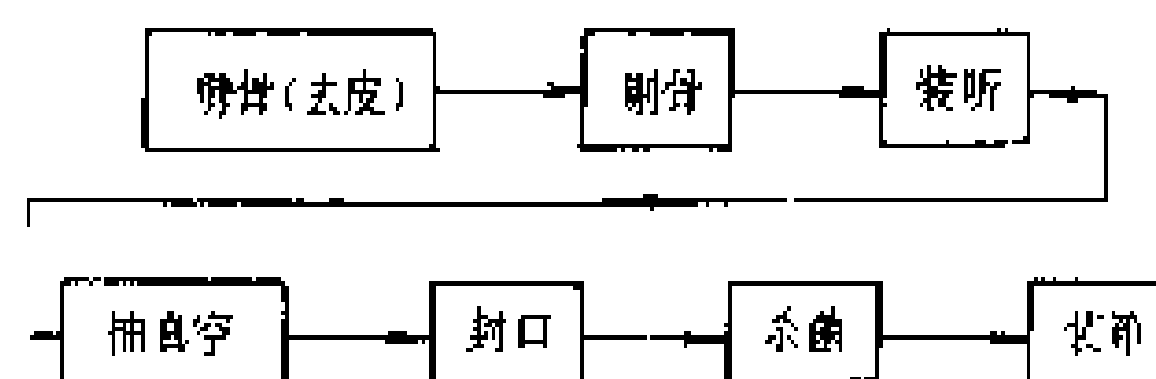


图7 罐头生产工艺流程

水果和蔬菜罐头生产工艺流程见图8。主要用电设备为选料机、封口机、真空泵、水泵。

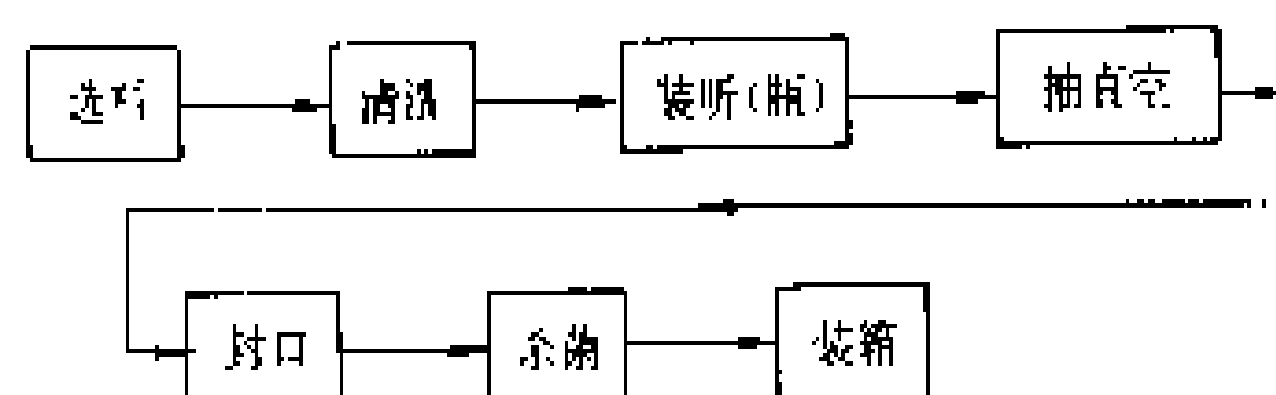


图8 水果罐头和水果罐头生产工艺流程

罐头食品生产属半连续性生产，同电负荷率65%~75%，自然功率因数0.65左右，产品单耗67~80 kW·h/t。

啤酒生产用电 啤酒的主要原料为麦芽70%、大米30%，生产工艺流程见图9。啤酒生产需配置制冷机

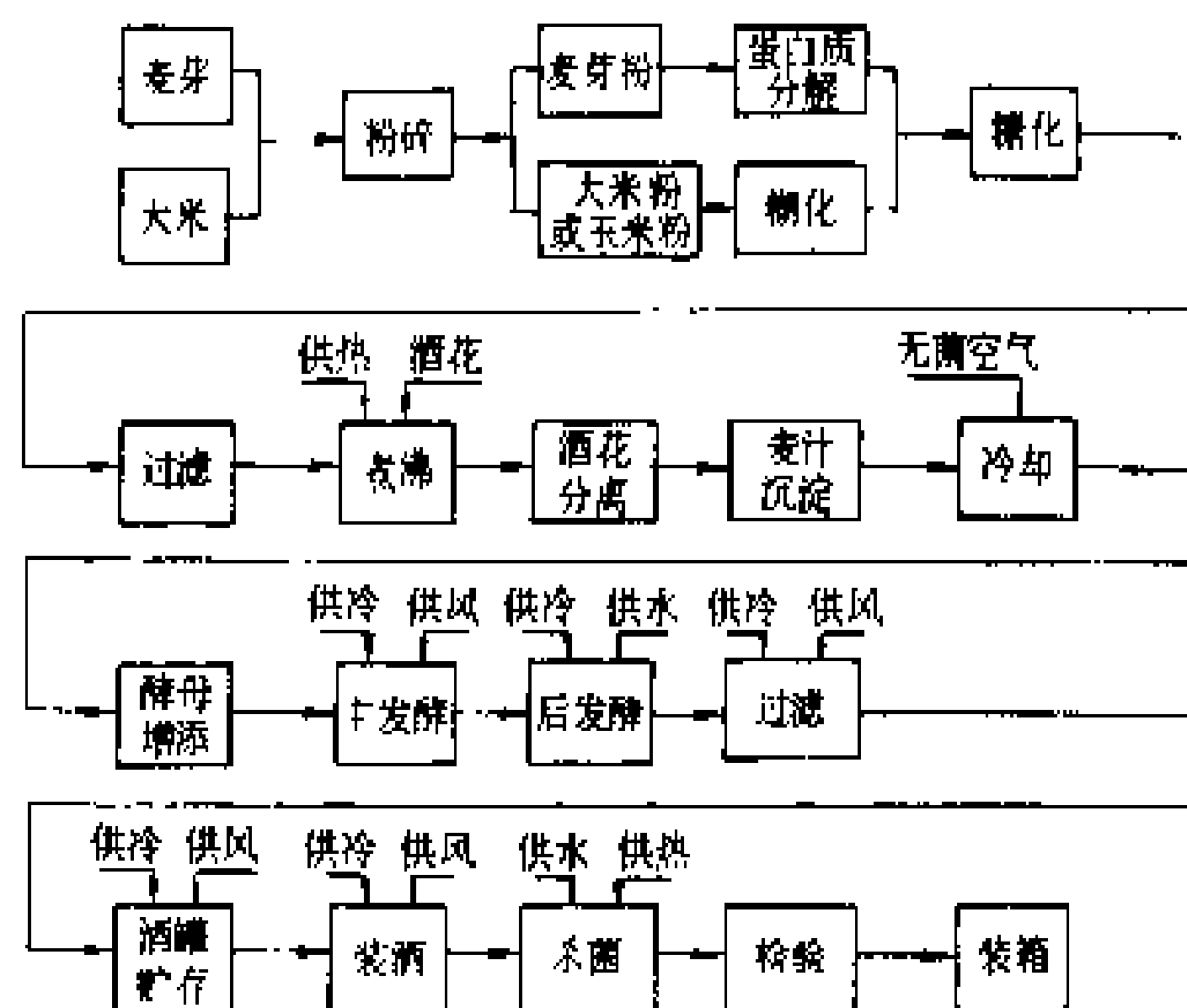


图9 啤酒生产工艺流程

组，空压机，水泵等辅助设备，这些辅助生产设备占总装机容量65%以上。

啤酒生产属连续性生产，用电负荷率在85%左右，自然功率因数0.75~0.80，产品单耗84~216 kW·h/t，平均110~120 kW·h/t，用电负荷曲线见图10。啤酒生产过程中，若停电超过半小时，啤酒会变酸。

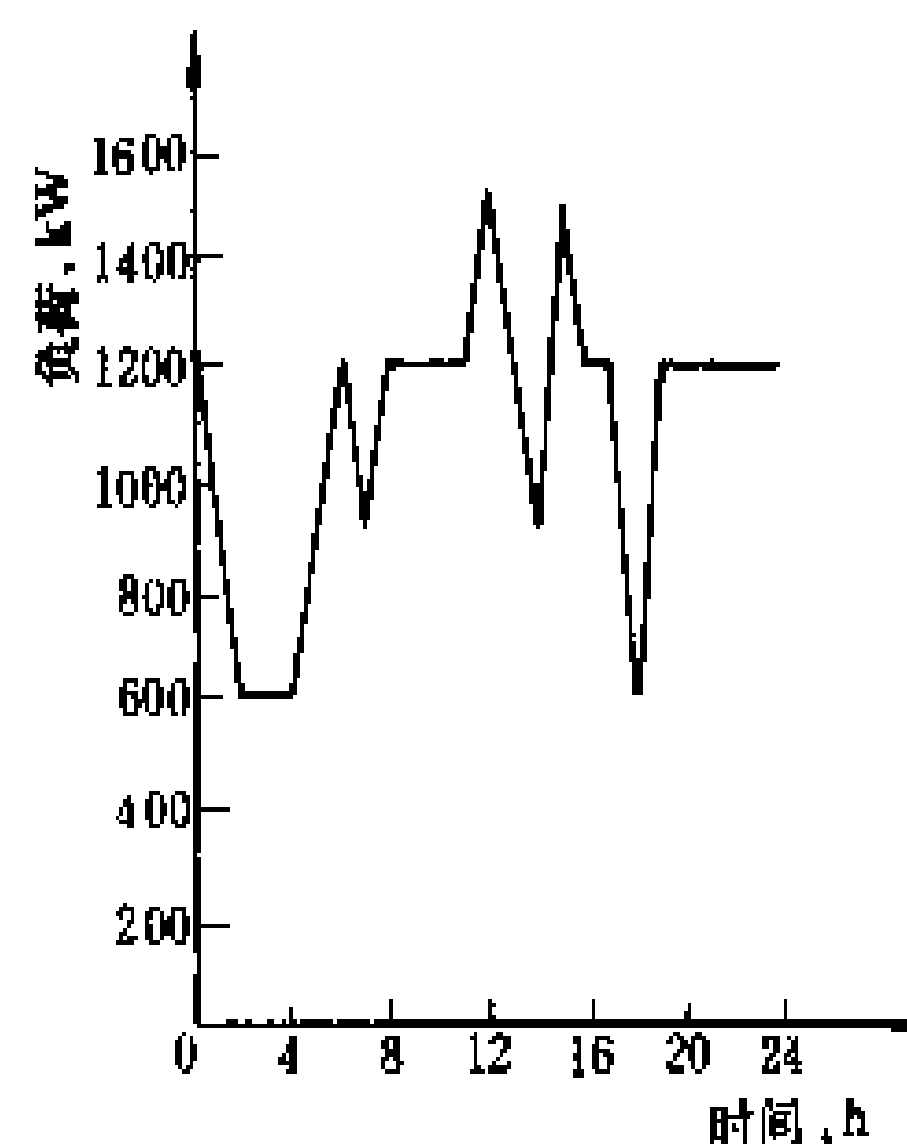


图10 啤酒厂日负荷曲线

中，若停电超过半小时，啤酒会变酸。

饮料生产用电 饮料有瓶装、听装和纸盒包装三



种。
饮料生产工艺流程见图 11。纸盒包装饮料生产工

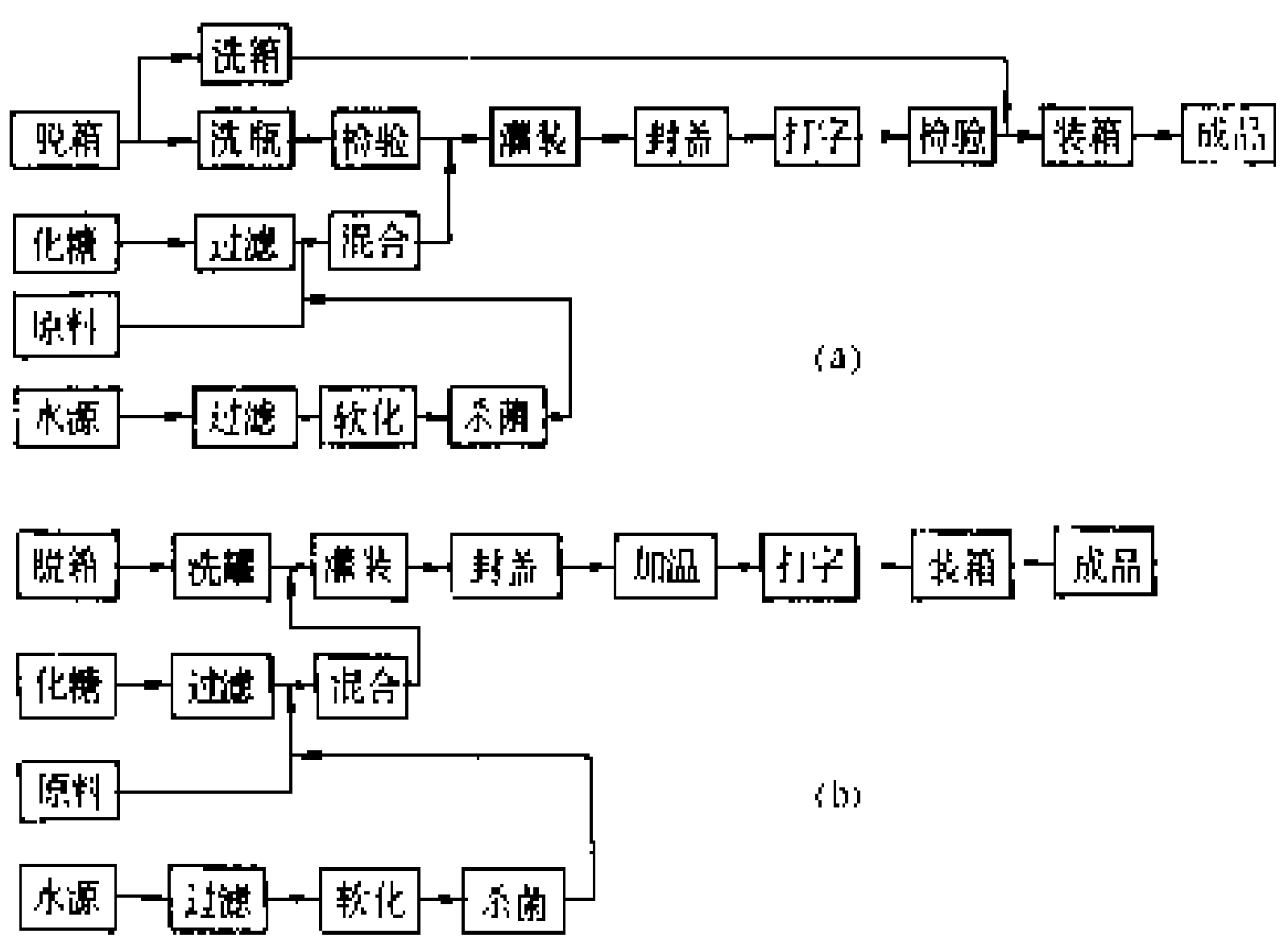


图 11 饮料生产工艺流程
(a) 瓶装饮料；(b) 罐装饮料

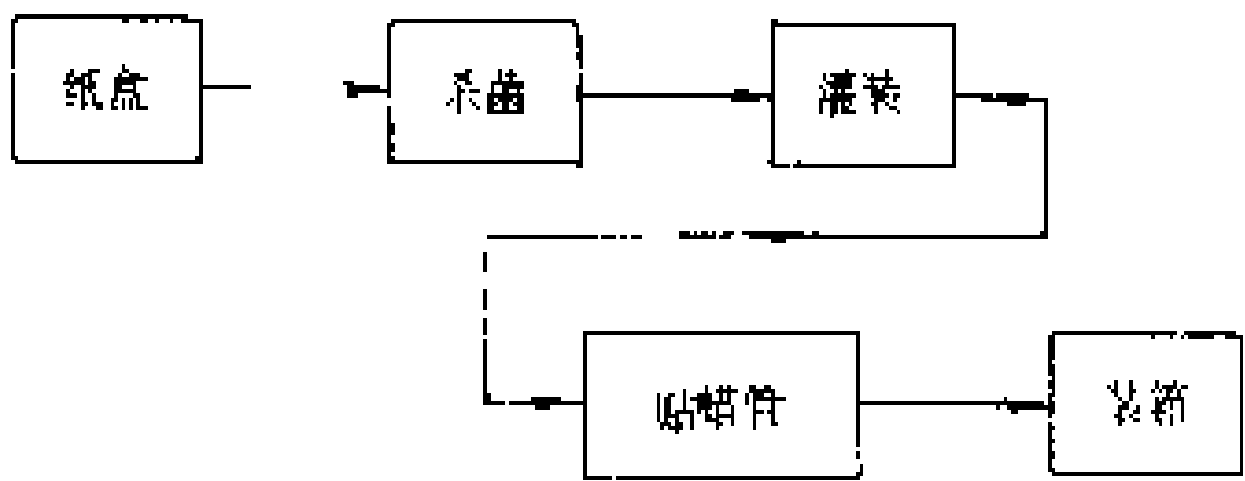


图 12 纸盒包装饮料生产工艺流程

艺流程见图 12。辅助生产设备有软化水设备，制冷机组，空压机，二氧化碳气体输送机等。

饮料生产属连续性生产，用电负荷率在 80% 左右，自然功率因数为 0.75~0.77。生产饮料和冷食为主的食品厂用电负荷曲线见图 13。产品单耗：瓶装饮料为 63 kW·h/t，罐装饮料为 79 kW·h/t。

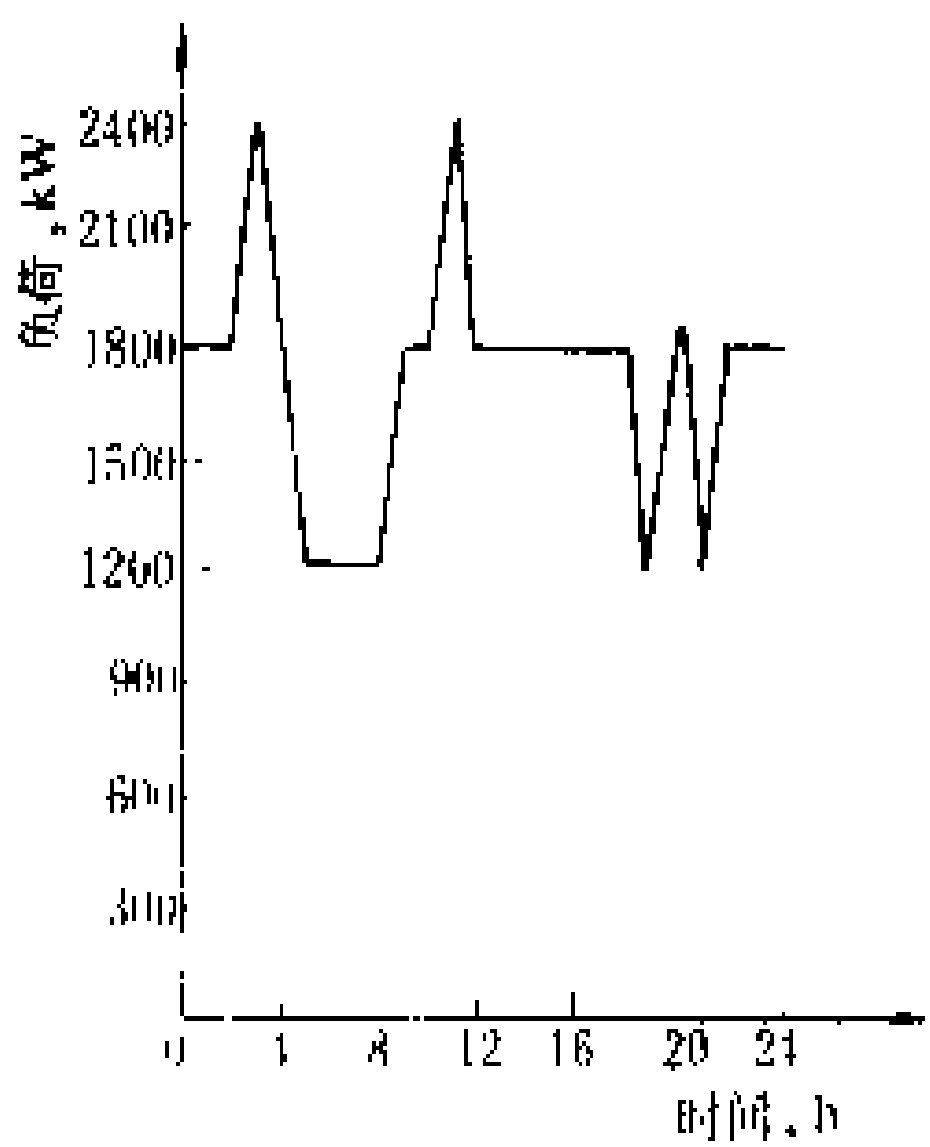


图 13 生产饮料和冷食为主的食品厂日负荷曲线

(刘双庆)

shiwu canzha chuliji

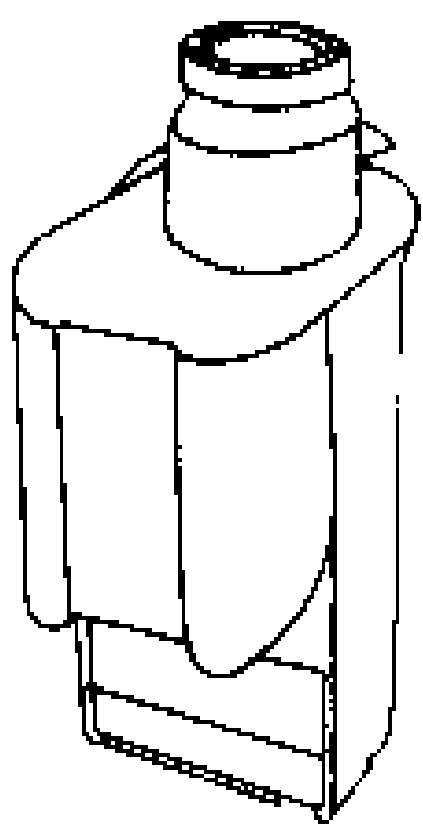
食物残渣处理机 (food waste disposer) 将食物残渣粉碎后送入下水道的厨房器具 (见图)，又称泔水处理机。

食物残渣处理机安装在洗碗池的下部，与洗碗池的漏水口相接。就餐后的碎骨、鱼刺、菜叶、肉皮等食物残渣被水冲进机内，即被粉碎为很小的碎片或颗

粒，由下水道冲走。这样，不仅减轻了家庭清扫的劳动，还减少了市政卫生工作的负担。

食物残渣处理机由机壳、破碎机构、进口控制机构及电机与电气系统四部分组成。

机壳由铸铁或铸铝制成。上机壳即破碎食物残渣的空腔，其下部安装有破碎机构，其上部通过法兰盘和密封垫与洗碗池排水口相连。上机壳的前侧面是开关盒，电气控制机构都装在里面。下机壳为电机外壳，后侧面有排水口，破碎物和水即从这里流入下水道。



食物残渣
处理机

破碎机构由破碎器、飞轮、破碎叶片等部分组成。破碎器实际是一个坚韧的抗腐蚀铬钢圆环体。它的内侧面上有三把破碎刀，每把刀的两侧都有刃口。当电机正向旋转时，三刀六刃中的三个同向刃口起破碎作用；而在电机反向旋转时，另外三个同向刃口起破碎作用。破碎器内侧下部 (低于破碎刃) 均布着整圈的小凹槽，这些凹槽的棱角均较尖利，起着二次破碎的作用，食物残渣在此可进一步破碎。

飞轮是安装在电机主轴上的重圆盘，所用材料为抗腐蚀的铬钢，以保证飞轮有一定的强度和硬度。在飞轮上设有两个或一个可收拢与甩开的破碎叶片。飞轮静止时，两叶片收拢；飞轮旋转时，叶片即甩开，有效地将食物残渣拨向破碎器，加快破碎速度。飞轮下部还剃出两个拨水面，它相当于水泵的叶轮，可将已粉碎的残渣连同水一同排至下水道。

进口控制机构安装于洗碗池的排水口，其中心有一小轴，上面装有控制手柄，改变此柄位置，即可改变进口通断状态，在水池法兰盘上，标有 W (或污水)、S (或关) 及 A (或破碎) 三种标记。当将手柄拧到 W 位时，泔水处理机不运转，其进水口仅相当于原水池的水漏，污水由此排到破碎腔，再经破碎器小凹槽流至下水道。此时，处理机的顶帽尚未锁住，可取下来，因此也允许一些残渣流入处理机的破碎腔。当拧动手柄至 S 位时，进水口完全堵死，相当于堵上一橡胶塞。如将手柄拧至 A 位，一方面将顶帽进一步锁紧，保证过大的骨头之类的东西不会进入 (对处理机有防护作用)，另一方面又使主开关闭合，处理机开始工作。

食物残渣处理机的电动机多用单相电容起动式感应电动机，也有采用分相式电机，均为四极，可正反转。电机功率在 250~370W 之间。

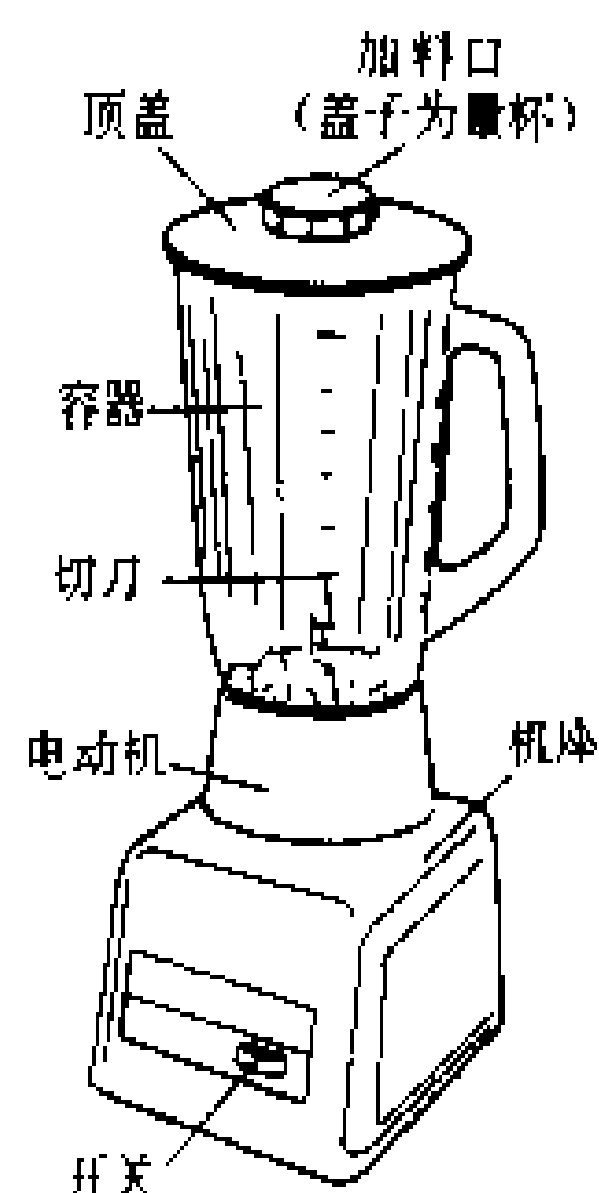
(叶宗林)

shiwu hunheqi

食物混合器 (food mixer) 将两种或两种以上食物混合的厨房器具。

食物混合器是由 1~3 个靠电机驱动的搅拌叶片构成(见图), 依靠搅拌叶片对食物进行混合、搅动、搅打, 如加上适当的附件, 它还能将肉类绞碎, 将水果挤榨出汁, 将马铃薯切成薄片, 刨冰, 甚至还能磨刀。

混合器的中心处有一台微型电机。为获得较高速度, 可采用通用电机。为适应不同用途, 可采用分段励磁调速绕组, 以获得三种不同的转速, 即低速 (350~700 r/min)、中速 (550~1000 r/min)、高速 (800~1250 r/min)。



食物混合器结构示意图

一般来说, 在混制较为粘稠的食品, 如将面粉、牛奶、盐混合成奶油酱(一种西餐食法)时, 因为是重载, 需要以低速运转, 而在把牛油和糖或蛋黄和糖搅拌成奶油状食物时, 因为是轻载, 就可以高速运转。

整个电机与减速、传动系统全装在电机罩里。机罩广泛应用注塑工艺以工程塑料制造。为了便于装配和检修, 机罩均设有上盖及尾罩, 所有电器元件或组件均装在电机罩上, 其中调速旋钮应装在便于操作的地方。

底座面积稍大, 以保持整个器具在工作时平稳无振动, 多以铸铝或铸铁制造, 用塑料注塑而成的也日渐普及。

食物混合器常制成便携式, 这样可省去底座, 减轻它本身的重量, 只要提起手柄便可把它放在任何地点操作, 故有更大的灵活性。

混合器的耗电功率一般在 250~300 W 之间, 每次使用的时间不长, 因此比较省电。

(叶宗林)

shiwu jiaobanqi

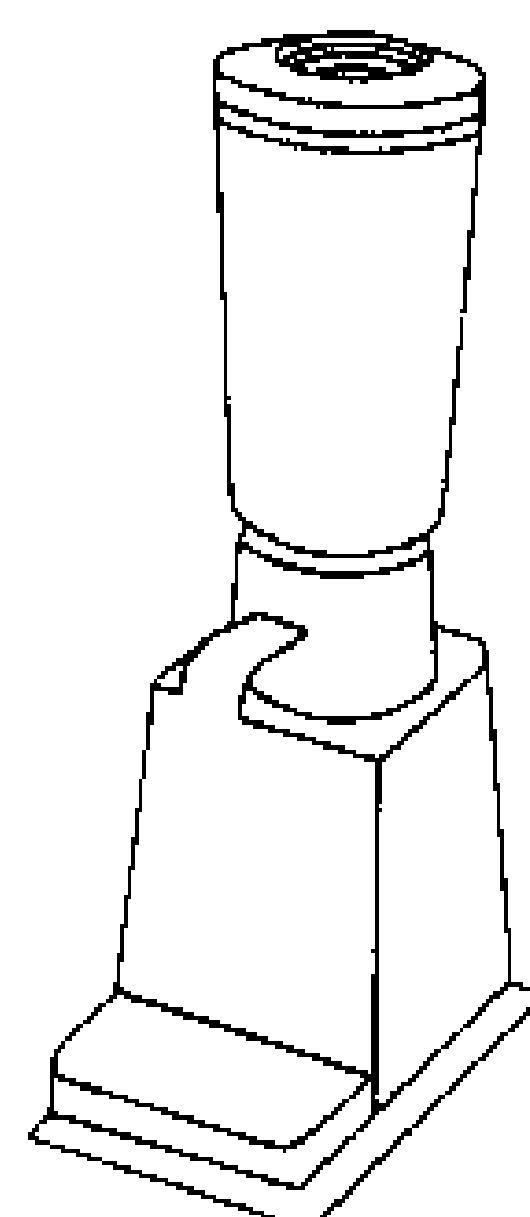
食物搅拌器 (food blender) 用于食物的搅拌、捣烂、起泡、磨碎、混合、剁碎、磨粉、掺混以及水果、蔬菜搅打出汁的厨房器具(见图)。这些功能是通过电机带动容器底部中心处的刀片旋转, 形成切削、切片和捣碎作用而完成的。

搅拌器由底座和容器两个部件组成。

底座的最下层是底盘, 用塑料注塑而成。底盘上

装有微型电机, 转速范围是 3000~13000 r/min, 功率在 250~750 W 之间。底座前面是控制屏板, 屏板上有控制旋钮或按钮, 可以方便地进行调速及其他操作。搅拌器工作时, 将容器放到底座平面上, 四个耳托便插进容器底部的凹槽中, 使容器稳固在底座上。电机主轴从底座的中心孔伸出, 其上装有下列传动联结器, 与容器底部安装的上传动联结器啮合, 将电机的运动传给容器底部的刀片。

容器用来盛食物。为了美观及便于观察, 多用透明玻璃或有机玻璃制造。容器底盘应做得坚固, 需用金属制作, 并经镀铬处理, 它与容器之间的接缝绝不允许有渗漏。为了便于清洗或一旦玻璃容器破碎后可以更换, 接合处常采用螺纹连接。上传动联结器和刀片装在底座中心轴上, 轴上应有可靠的轴封, 以防止流体食物渗漏。刀片需用强度较高的不锈钢板



食物搅拌器

制作。容器上口应加上盖, 以防落入尘土和食物溅出, 上盖中心处有注入口, 可以在不断工作中陆续加入食物, 或者伸入刀叉以拨动食物。

(叶宗林)

shiyao dianjie

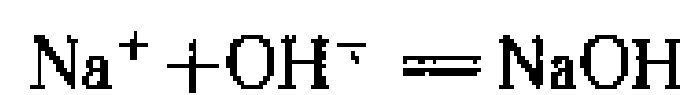
食盐电解 (salting liquor electrolysis)

电解饱和食盐水溶液制取烧碱(氢氧化钠)和氯气并副产氢气的过程。1890 年, 隔膜电解法电解食盐水溶液实现了工业化生产, 1892 年, 水银电解槽取得专利, 形成水银电解法, 两种方法一直沿用至今。1966 年, 美国杜邦(Du Pont)公司开发出化学稳定性较好, 用于宇宙燃料电池的全氯磺酸阳离子交换膜(Nafion), 使离子交换膜电解法(又称离子膜法)电解食盐水溶液制碱得以成功, 并获得大发展。此法克服了隔膜电解法所产烧碱浓度低、氯化钠含量高、有石棉污染和水银电解法耗电多且有汞污染等缺点。1975 年, 日本利用杜邦公司生产的 Nafion315 离子交换膜, 建成年产烧碱 4 万 t 的离子膜电解工厂。此后 10 年左右, 全世界用离子膜电解含盐水溶液的氯碱厂发展至 90 家, 日产烧碱达万吨。1987 年, 离子膜法的产碱能力为 460 万 t, 占世界总产量的 11%。

食盐电解分为隔膜电解、水银电解和离子膜电解等三种电解法。

隔膜电解法 用多孔渗透性材料作隔层, 将电解槽内的阴、阳极隔开, 以分隔阴极产物和阳极产物,

防止发生不良反应的电解方法。在氯碱工业中,以金属为阳极,钢板为阴极,以精制饱和食盐水溶液为电解液进行电解。阳极析出氯气,阴极析出氢气,阴极附近产出氢氧化钠,其反应为



电解产生的氯气和氢气分别用导管导出,经冷却、干燥、压缩作为成品。电解槽排出的碱液含NaOH 10%~12%,食盐含量高,碱液浓度低,须经浓缩、回收盐后氢氧化钠方能作为成品。

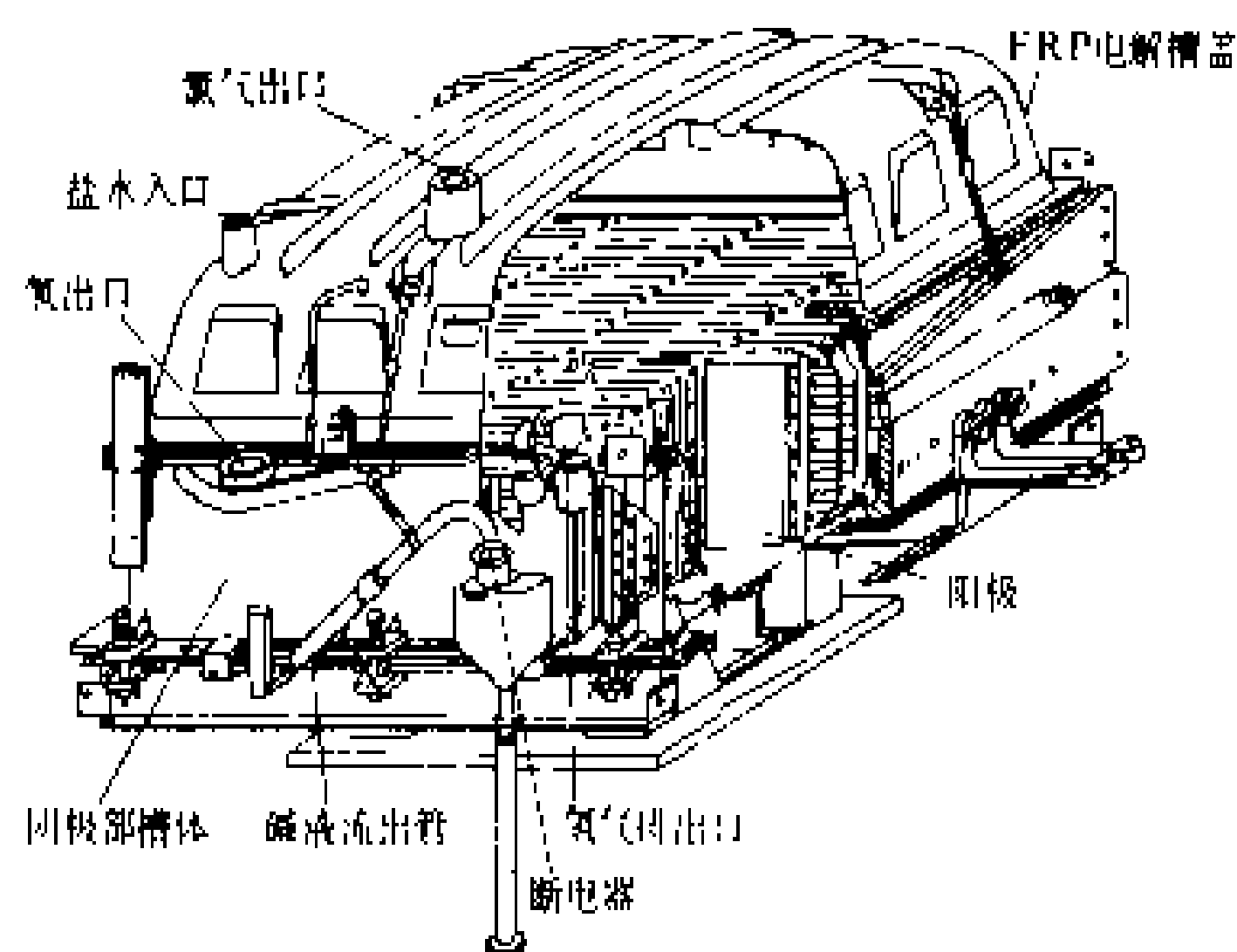


图1 虎克—4型电解槽

电解时,将精制饱和食盐水溶液输入阳极室,利用阳极室、阴极室间液位差使溶液透过隔膜进入阴极室。所用多孔渗透性隔膜能使电解液透过,并以一定速度流向阴极,以阻止 OH^- 向阳极室扩散。这种隔膜不妨碍离子运动构成电流通路,但能防止阴极产物 H_2 与阳极产物 Cl_2 的机械混合,一般称为渗透式隔膜,通常用石棉布或石棉纸制作。新式隔膜则直接将石棉纤维吸附在阴极上构成。氯碱工业中的隔膜电解槽有多种,图1为虎克型电解槽。

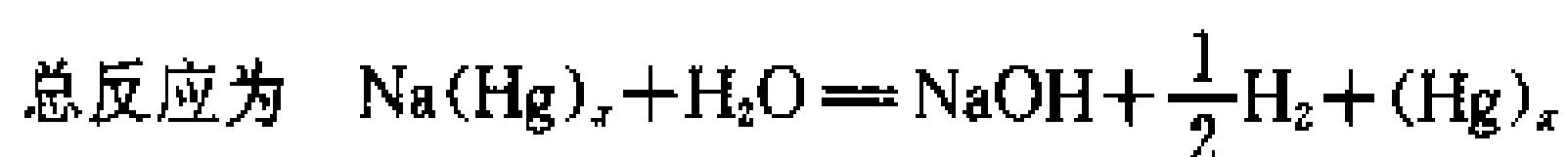
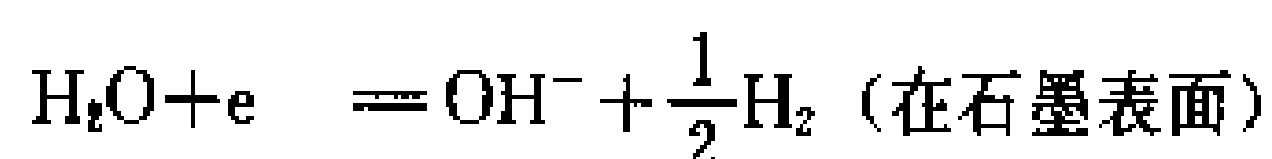
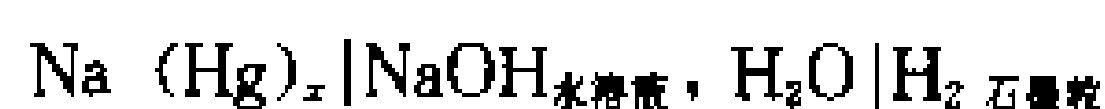
隔膜电解食盐水溶液技术条件与指标:进槽盐水浓度NaCl 320~326 g/L,槽温 95~99℃,槽电流 6~150 kA,阳极电流密度 1500~2000 A/m² (金属阳极),槽电压 3.5 V左右,电流效率 95%左右,烧碱直流单耗 2700~3500 kW·h/t。

水银电解法 以流动的水银层为阴极,石墨或金属为阳极,电解饱和食盐水溶液的制碱方法。阳极析

出氯气,其反应与隔膜法相同。由于氢在水银阴极上的过电位比钠的过电位高,所以电解时汞阴极上不析出氢而析出钠。析出的钠与汞生成钠汞齐溶于水银中,其反应如下



钠汞齐遇水反应生成碱液、Hg和氢气,称为解汞反应。此反应在解汞室(或解汞器)内进行。所以,水银法电解槽由相连的电解室和解汞室组合而成。现代水银电解法的解汞室多为立式塔形结构,内设石墨颗粒床。由电解室出来的钠汞齐从塔的顶部分配盘均匀下流,经石墨颗粒床与塔底流入的纯水逆流接触,组成以钠汞齐为阳极、石墨粒为阴极的原电池反应,短路放电,加速解汞反应



解汞是放热反应,可使塔内温度保持在100℃左右而无外加热。反应生成的氯气经塔顶冷却器冷却后导出。碱液从塔上部导出。汞则用水银泵返回使用。图2为水银电解法流程图。

水银电解法电解槽的种类很多,图3为伍德型电

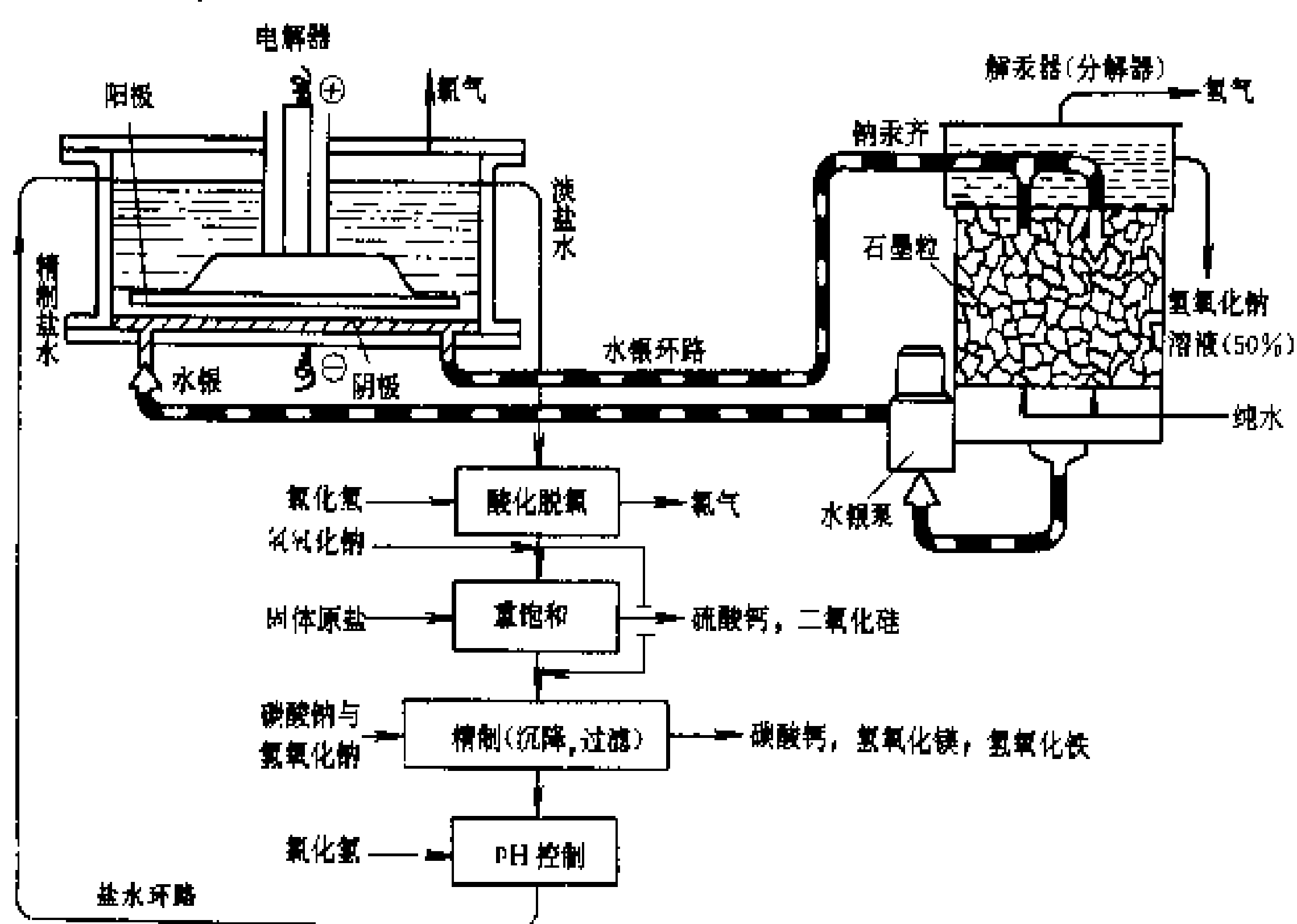


图2 水银电解法流程图

解槽。现代水银法电解槽的阴、阳极间距多用电子计算机控制。

水银电解法技术条件与指标:入槽盐水浓度 310~315 g/L,电解槽温度 75℃,出槽淡盐水浓度 270 g/L左右,钠汞齐含钠 0.2%左右,电流强度 15~500

kA, 石墨阳极电流密度 2 kA/m^2 , 金属阳极电流密度 15 kA/m^2 , 石墨阳极槽电压 5 V 以上, 金属阳极槽电压 4 V 左右, 电流效率 96% 左右, 碱液含碱 50% , 每吨烧碱直流电耗 $4000\sim 4500\text{ kW}\cdot\text{h}$ 。

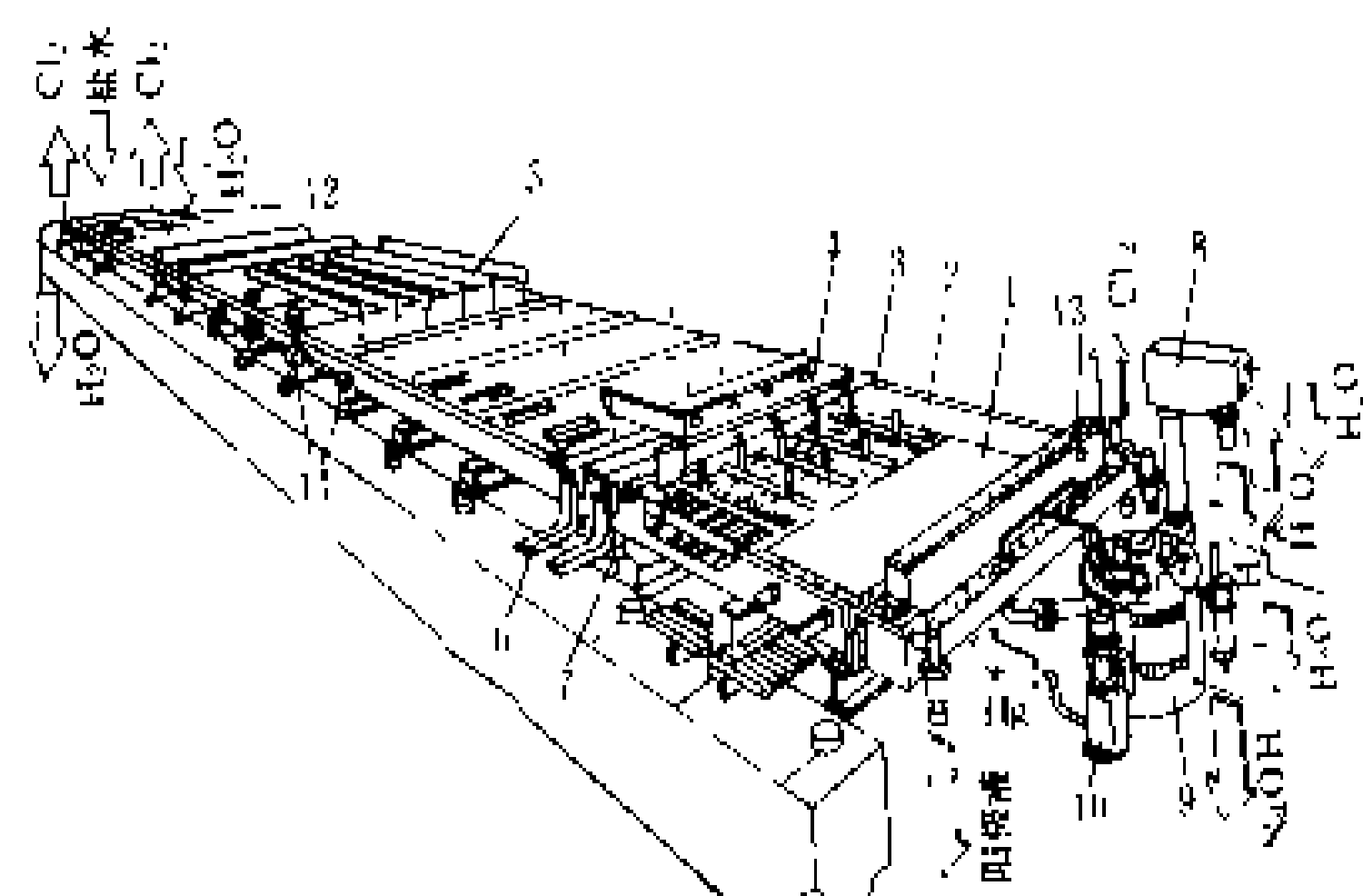


图3 伍德型电解槽

1—槽底; 2—阴极; 3—盖封; 4—槽盖; 5—阳极组调节器; 6—槽间铜板; 7—除槽开关; 8—氢冷却器; 9—解汞塔; 10—泵系; 11—阳极调节器; 12—加料箱; 13—槽尾箱

离子膜电解法 利用阳离子交换膜将阴、阳极隔开进行食盐水溶液电解的方法。具有固定离子和对离子(或称解离离子, 相反离子)

的膜有容许带一种电荷的离子通过而限制相反离子通过的能力。电解食盐水溶液使用磺酸型阳离子交换膜, 其活性基因中的对离子 Na^+ 可与水溶液中的 Na^+ 进行交换, 从而使其通过, 而活性基因中的固定离子却限制溶液中 Cl^- 和 OH^- 通过, 从而获得高纯度氢氧化钠溶液。生产中将精制饱和食盐水溶液加到阳极室, 将纯水和稀氢氧化钠液加到阴极室, 通电后, 其离子按图4中所示方向移动, 在阳极析出氯气, 在阴极析出氢气, 在阴极附近生成氢氧化钠, 其反应和隔膜电解法的相同。

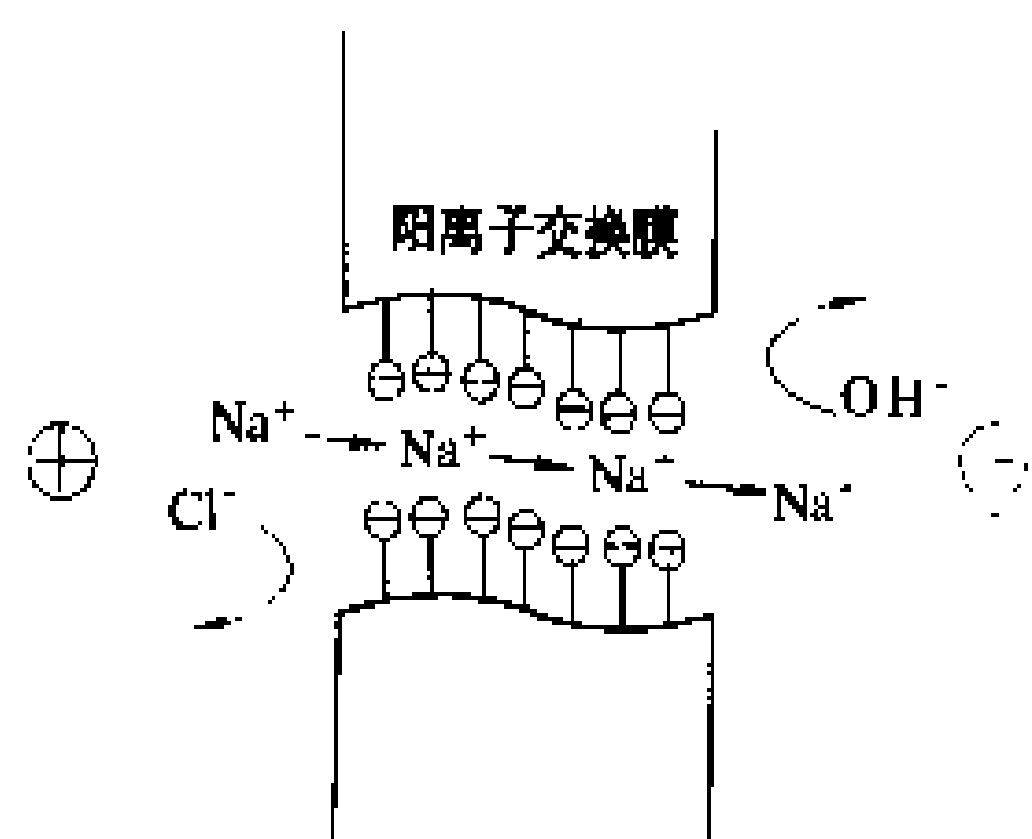


图4 离子交换膜示意图

离子膜电解法可制得含氯化钠极低而含氢氧化钠高达 35% 的浓碱, 槽电流 $50\sim 200\text{ kA}$, 电流密度 $3\sim 4\text{ kA/m}^2$, 槽电压 3.5 V 左右, 电流效率 95% 左右, 烧碱直流单耗 $2250\sim 2350\text{ kW}\cdot\text{h/t}$ 。

参考书目

方度等主编, 氯碱工艺学, 北京: 化学工业出版社

社, 1990

(马荫华)

shizheng gongyong sheshi yongdian

市政公用设施用电 (electrical energy utilization of municipal public acilities)

城市公众共同使用的城市设施用电。市政公用设施主要是指给水、排水(包括污水处理)、电信、煤气、热力、道路桥梁、园林绿化、环境卫生(主要是垃圾的清运与处置)、公共交通(包括地下铁道、电车、公共汽车等)、防洪、防灾等设施。这些设施的用电大体可分为两种类型: 一类是以电作为直接动力, 如给水、排水、煤气、热力的介质输送, 地下铁路、电车、垃圾处置设施的驱动等; 另一类是辅助用电, 如道路、园林的照明, 交通、防洪、防灾设施的监控系统和办公用电。其中以给水设施用电量较大。一个城市发展初期, 公共交通多以汽车为主, 中期汽车、电车并存, 城市高度发展以后地下铁道逐渐成为公共交通骨干, 用电水平逐步提高。在现代化城市中, 居民生活需要的取暖、制冷、热水、炊事等用能是煤气、热力、电力的共同市场, 公用煤气、热力事业的发展, 延缓居民生活用电水平的增长势头。市政公用设施与城市人口数量有直接关系, 其发展和完善程度是反映一个城市现代化程度的重要标志, 随着城市的发展, 市政设施用电内容和用电量将显著增加。

大部分市政公用设施如给水、排水、电信、公共交通中的地下铁道和电车等, 一旦中断供电将会较大地严重影响生产、生活及社会和经济活动的正常进行。市政公用设施的重要性, 决定其对供电的可靠性有较高的要求, 一般都有两路电源供电。有的还设有自备电源。

见城市给水设施用电、城市排水设施用电、城市电车用电、地下铁道用电、路灯用电。

(高士国)

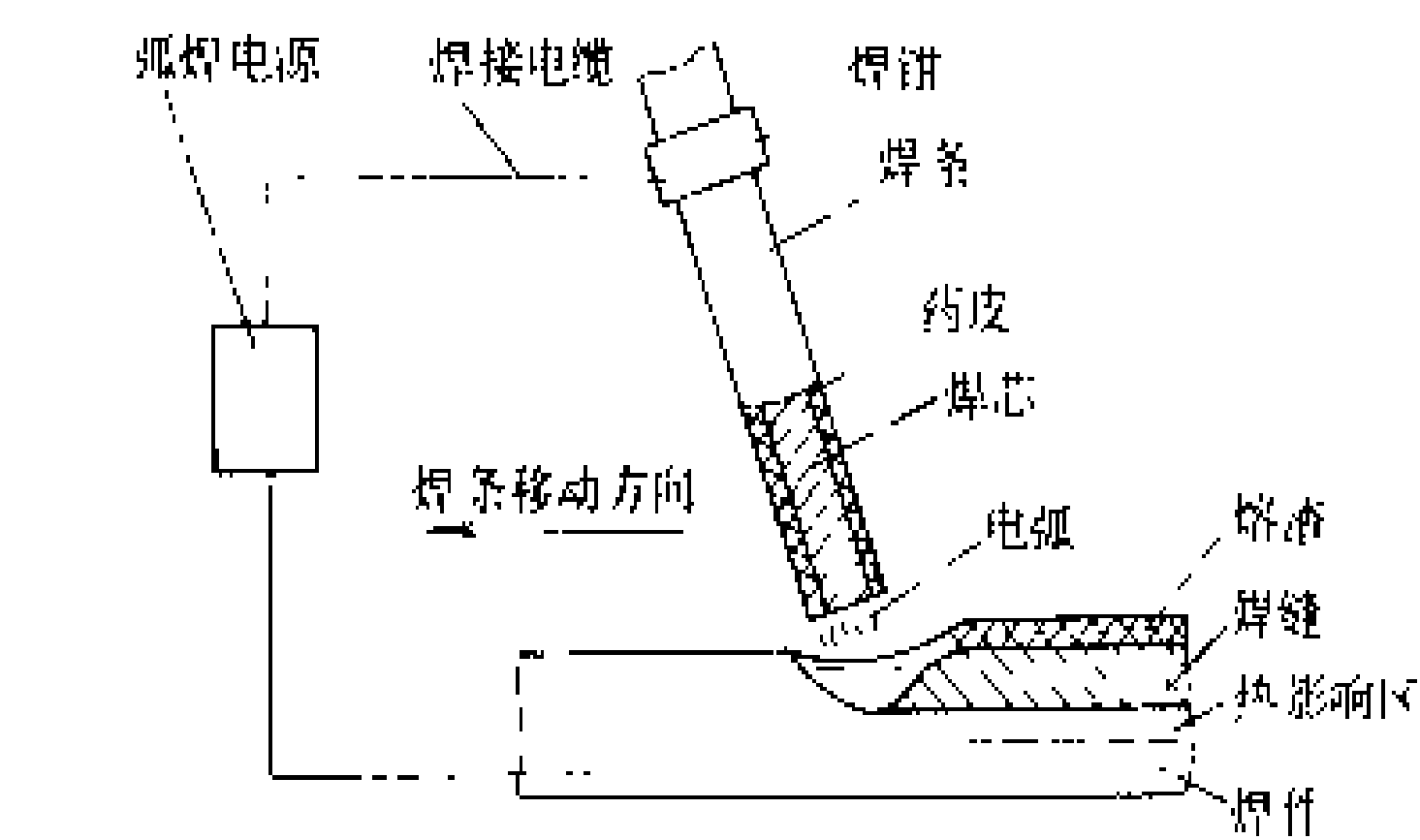
shouhuhan

手弧焊 (shielded arc welding) 用手工操纵焊条进行焊接的电弧焊。

手弧焊机由电弧焊电源、焊接电缆和焊钳三者组成。弧焊电源一般为交流, 也可以是直流。手弧焊电压范围为 $16\sim 40\text{ V}$, 电流范围为 $20\sim 500\text{ A}$ 。焊接时, 电流、电压值的选择取决于焊件的材质和厚度、焊条的类型和规格, 以及焊缝的形式和位置。

如图所示, 焊条夹持在焊钳内。焊钳和焊件分别接在弧焊电源的两个输出端上。用手操纵焊钳, 将焊条端部与焊件接触, 然后拉开以引燃电弧。电弧热使

附近的焊件金属（母材）、焊芯和焊条药皮熔化。随着焊条的行进，由熔化的母材、焊芯和药皮内的金属粉末所形成的合金凝固成为焊缝。在焊接过程中，焊芯外围的药皮不仅保护焊芯金属不被空气氧化，而且产生的熔渣和气体还能保护熔池免受空气的侵害，同时还起到稳定电弧和向熔池渗入合金元素等的作用。



手弧焊示意图

药皮焊条做成各种直径，一般为 1.6~6mm。小直径焊条用于以小电流焊接薄板和各种位置上的焊接。大直径焊条能用大电流，适用于手焊位置，能焊接中、厚焊件，有较高的熔敷率。焊条已制成商品，有许多种类型和规格。

手弧焊主要用来焊接碳钢、低合金钢、不锈钢、铸体等。这是一种最古老的电弧焊方法。由于设备简单轻便，适宜于远距离和大空间范围内作业，手弧焊在建筑结构、管道工程和造船工业中至今仍是主要的焊接方法。在机械修配车间中，一般只需要几种焊条就可解决大部分的焊接问题，所以手弧焊在机械工业部门也得到广泛应用。手弧焊的缺点是：焊接速度较慢，焊接劳动条件较差，焊后要对焊缝除去凝固的熔渣，以及难以用于有色金属的焊接等。为此，从 30 年代起陆续发展了埋弧焊、气体保护电弧焊和等离子弧焊等技术上更为先进的电弧焊方法和其他许多种电焊方法。虽然如此，按焊接结构件的重量比较，手弧焊在各种焊接方法中仍将占居首位。

参考书目

薛迪甘，焊接概论，北京：机械工业出版社，1979

（昂桂兰）

shoudiandian

受电点（power receive paint） 用户受电装置所处的位置。为接受供电网供给的电力，并能对电力进行有效变换、分配和控制的电气设备，如高压用户的一次变电站（所）或变压器台，开关站，低压用户的配电室、配电屏等，都可称为用户的受电装置。同一受电装置不论有几个回路或几个电源供电，都视为是一个受电点。用户有几个设在不同地点的受电装

置，即就有几个受电点。

（徐纪法）

shusan zhaoming

疏散照明（escape lighting） 为了在紧急情况下能安全撤离，确保疏散走道能得到有效的辨认和使用而设置的应急照明。

随着建筑物向大型化、高层化发展，以及形态越来越复杂多样，一旦发生火灾或其他灾难，就会酿成大祸，导致人的生命财产受到损失。因此，按照建筑物的种类和规模的大小，应设置疏散照明及救灾设备，在灾害发生时使建筑物内的人员疏散到安全场所。

疏散照明灯按照点灯状态分类，有平时不点燃的，减光点燃的和闪光型疏散照明灯；按照尺寸大小分类，有大型、中型和小型疏散照明灯；按灯的构造分类，有普通型、防水型、防尘型、防爆型疏散照明灯；按照电源设置方式分类，有内藏电源型和电源别置型疏散照明灯。

疏散照明灯的颜色由绿色和白色组合而成。如图 1、图 2 所示，安全出口标志灯的人物形状为绿色，箭头为白色。走廊通道、室内通道疏散照明灯的标志为绿色。楼梯通道疏散照明灯为不带任何标志的普通灯具，仅供电电源与普通灯具有别。



图 1 疏散标志灯

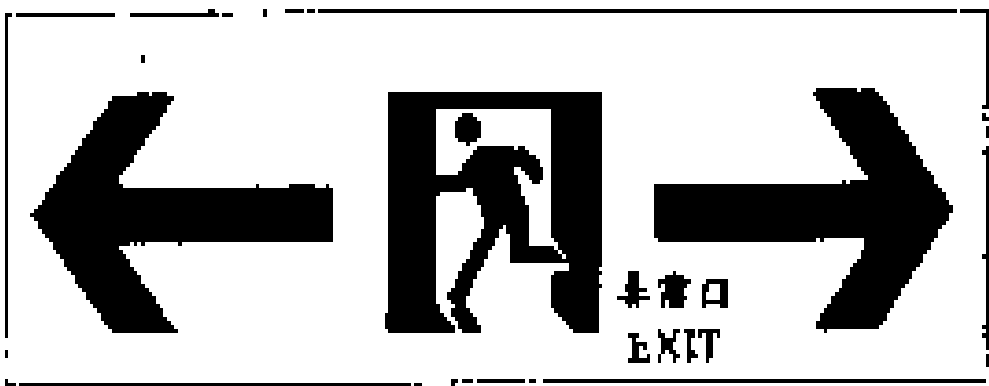


图 2 通道疏散照明灯

减光型疏散照明灯性能，平时以 20% 的光通量点亮运行，当灾害信号发出时，手动切换到正常点灯状态。减光型灯在初期周围温度为 25±5℃ 时，其光通量应为常用荧光灯正常点燃光通量的 20% 以上，在温度为 5~35℃ 的常温范围内灯的光通量维持在 10% 以上即可。

减光型灯主要用在安全出口和室内通道，设置地点如剧场、影院、演出场所、会堂、会场、夜总会、咖啡厅、餐馆、医院、诊所等 平时要求较暗的场所，以免对正常活动干扰。

闪光型标志灯内设荧光灯和白炽灯，无灾害时，荧光灯 100% 点燃，白炽灯不点燃，有灾害时开始闪光，白炽灯以点灭方式闪光。此时若正常电源不失电，荧光灯闪光的明暗比，高亮度为 100%，低亮度为 35%±5%；若正常电源停电，荧光灯高亮度为 36%，低亮度为 10%±2%，点灯时间与灭灯时间比以及白炽灯与荧光灯之比均为 1:1，闪光频率为 2Hz±0.2。这种灯可提高诱导效果，主要用在视力和听力弱的人员出入的避难口和路径上，如夜总会、咖啡馆、歌舞餐厅、游艺场、候车室、饭店、医院、老人福利设施、幼儿园、公共浴场、土耳其浴、桑拿浴场等。

平时不点燃的疏散照明灯，当感知火灾报警信号时，灯将全部点燃。灯的开关方式有手动、连锁或光电自动开关三种。这种灯主要用于假日、夜间等定期无人的场所。对无人场所，灯的操作原则是值班人员根据灾害信号手动操作灯的开关，如果无值班人员，应采用按信号自动开关方式操作灯的点灭。

安全出口疏散标志灯，一般应设在入口的上方，如因建筑物构造原因不能设在其上方，可设在其前方左右 1 m 的有效范围之内，灯的高度在 1.5 m 以上、2.5 m 以下。

走廊通道疏散照明应装设在走廊的交叉分支处，无分支走廊的设在两端，中间每隔 20m 安装一个。

室内疏散照明灯设在室内通道的转角处，对长通道每隔 20 m 设一个。

楼梯通道疏散照明灯设在楼梯休息平台的墙壁上，通向地面或避难层的楼梯通道或倾斜道路上，均应设置疏散照明灯。

观众厅、客席诱导灯设置在演出场所通道上，一般每隔 4 m 设一个，地面水平照度应为 0.2 lx。

(赵振民)

shuangdianyuan liansuo zhuangzhi

双电源连锁装置 (double power source interlocking device)

防止双电源误并列和反送电，在相互连接的电器元件间设置的一种可靠的控制装置。双路电源能否并列运行，决定于它们的电压、频率和相位是否相同。禁止并列运行的两个电源，若并列运行时，轻者（环流较小）造成局部负荷用电的中断，重者（环流较大），造成大面积停电事故。当两个电源的相位不对应，进行误并列时，会产生相间短路，除造成大面积停电外，还会烧坏并列点的设备和危及人身安全。双电源连锁装置根据动作原理分为机械式和电气式两大类。

机械式连锁装置 钥匙盒、刀型转换开关和连杆式传动装置属机械式连锁装置。

(1) 钥匙盒。甲、乙两个电源各有一个钥匙盒。操作乙电源的钥匙放入安装在甲电源的开关传动轴上的钥匙盒内，操作甲电源的钥匙放入安装在乙电源的开关传动轴上的钥匙盒内。当甲电源开关处于分闸位置时，钥匙盒盖开启，取得钥匙打开乙电源锁，合上乙电源。当甲电源处于合闸位置时，钥匙盒关闭，无法取出钥匙，不能打开乙电源的锁，则乙电源处于分闸位置。依据两个电源开关分、合位置来相应控制钥匙盒的开与闭，达到连锁的目的。

(2) 刀型转换开关。该开关用于交流电压 380 V，直流电压 400 V，额定电流 1500 A 及以下的低压配电装置中，实现双电源连锁

的工作原理见图 1。两电源分别接于刀型转换开关两侧，用电负荷接于刀型转换开关中间处，通过操作机构或手柄将动触头向刀型转换开关两侧倒换，完成两电源连锁。刀型转换开关按极数分为单极、双极、三极；按操作方式分为中央手柄式、中央正

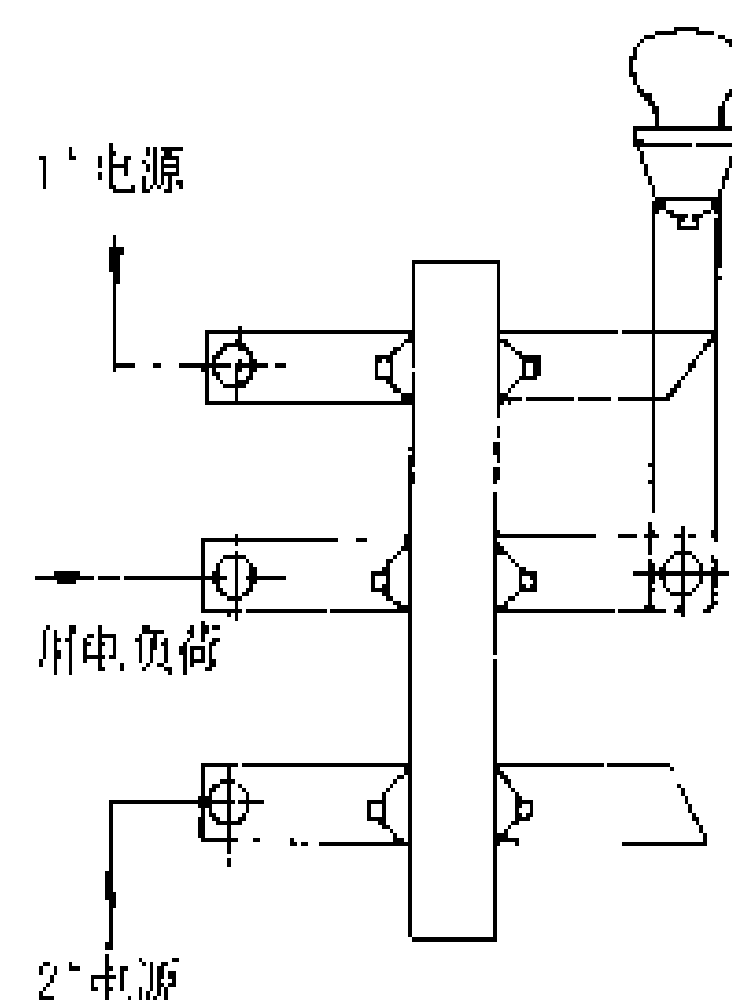


图1 刀型转换开关

面杠杆操作机构式、侧方正面杠杆操作机构式；按灭弧性能分装有灭弧室和不装灭弧室。

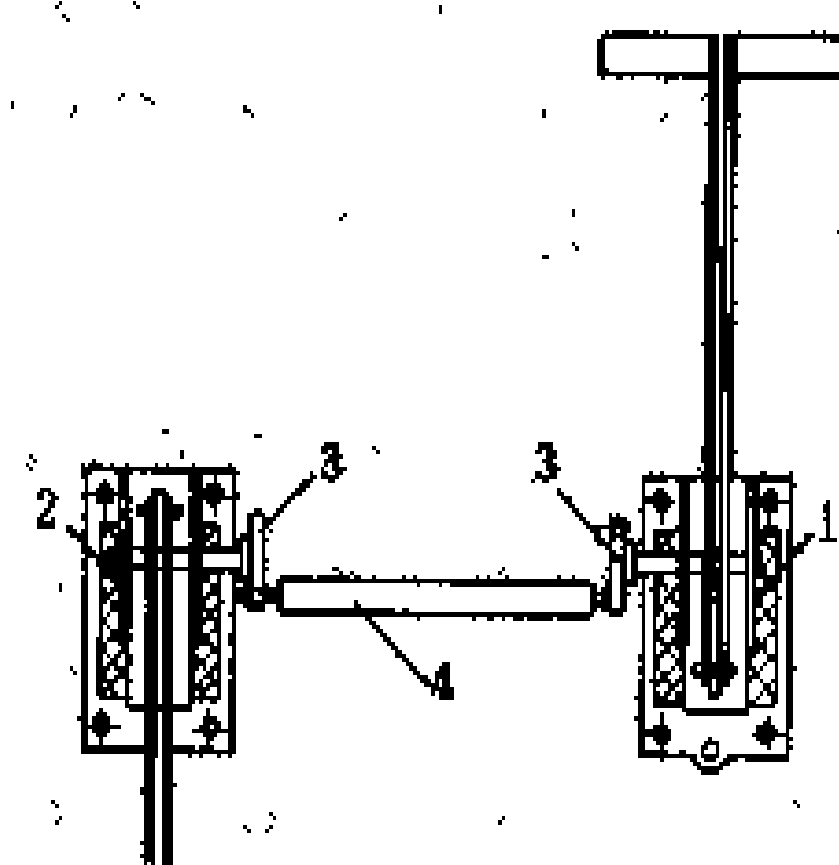


图2 连杆式传动装置

1, 2—操作机构；3—圆盘；4—连锁轴

(3) 连杆式传动装置。该装置用于装设在墙上的两个电源开关间，使两个开关只能有一个合闸或两个全部分闸。工作原理见图 2。当操作机构 1 手柄拉起时，连锁轴上的滑杆一端即从圆盘滑槽内滑出，由于斜面推力使滑杆的另一端推入操作机构 2 的圆盘小孔，保证操作机构 2 不能动作。

电气连锁装置 通过低压断路器或交流接触器的辅助触点，控制开关的操作电源，达到两个电源间连锁（见图 3）。使用该连锁装置可实现当常用电源停电后，备用电源自动投入运行；在备用电源自动投入的情况下，当常用电源恢复供电后，将备用电源断开，即自动恢复最初的运行方式；当常用电源因负荷侧故障掉闸时，备用电源拒绝投入，直至事故处理后，用手动恢复供电。按投入方式该装置可分为自投、自投自复、互投、互投自复电气连锁装置。

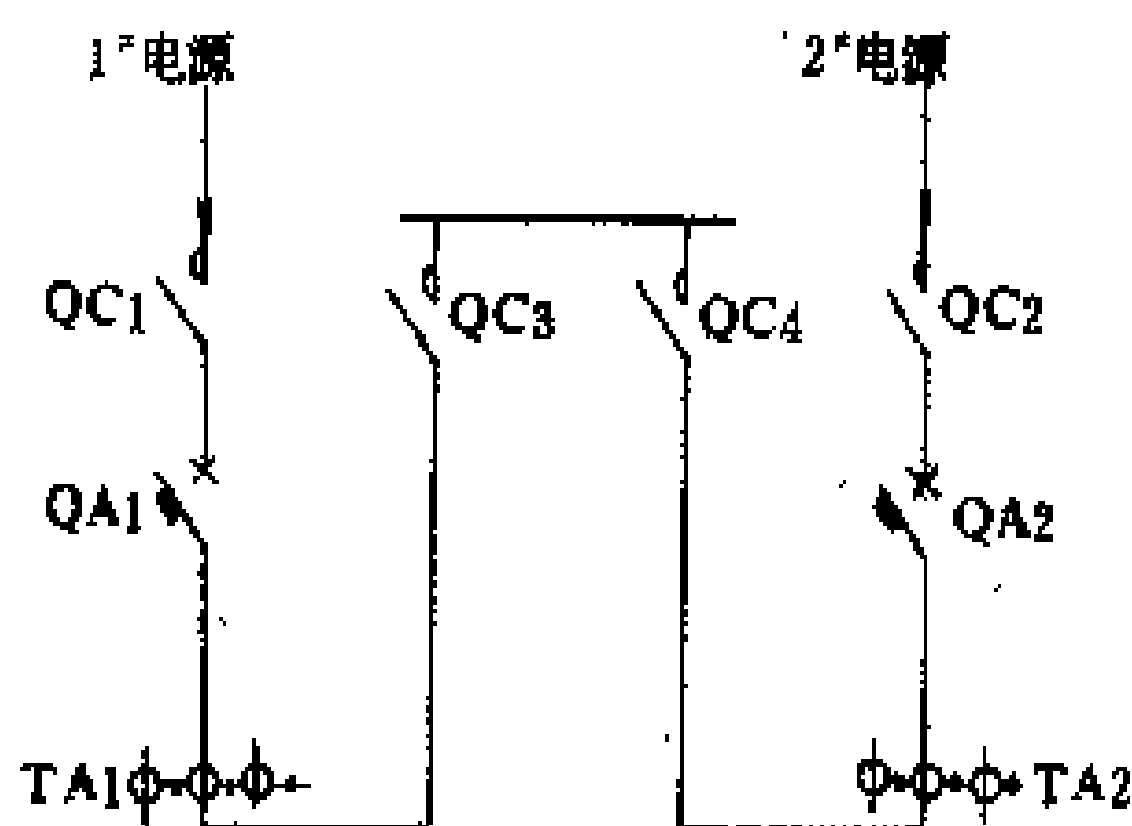


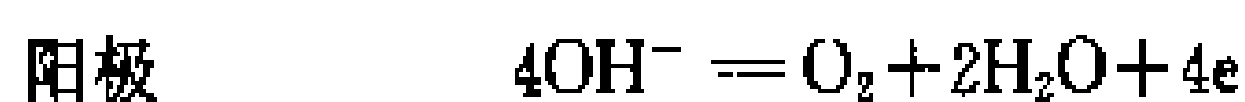
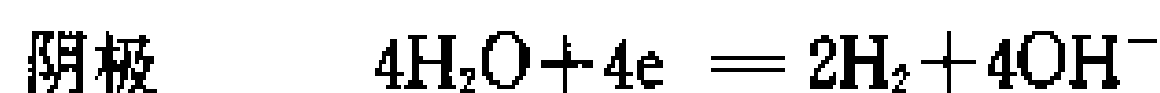
图3 电气连锁装置

(赵学林)

shuidianjie

水电解 (water electrolysis) 用电解方法分解水制取氢气的过程。氢气主要用于合成氨、硬化油脂、合成盐酸等。副产品氧气主要用于氢氧吹管、氧炔吹管、炼钢等。同时利用氢气和氧气可以降低水电解的生产成本。早在1800年W. 尼科尔森 (W. Nicholson) 已从电解水制得氧气和氢气，但直到1913年才实现了工业化。

水电解以碱性水溶液为电解液，通直流电后，在阴极析出氢气，在阳极析出氧气。由隔膜隔开的氢和氧分别用导管导出。电解时的电极反应如下



纯水的电导率为 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-7} \text{ S/cm}$ ，很低，不适于电解。加酸或碱可以大大提高水的电导率。酸对电解槽不利，因而，现在都用氢氧化钠或氢氧化钾的水溶液为电解液。

水电解的电解液中含钠约20%，操作温度80℃，电流密度 $1500 \sim 3000 \text{ A/m}^2$ ，槽电压1.8~2.2 V，电流效率在99.5%以上，产出的氢气纯度在99.7%以上，氧气纯度在99.5%以上。每制取1标准立方米的氢和0.5标准立方米的氧消耗电能4.5~5.5 kW·h。

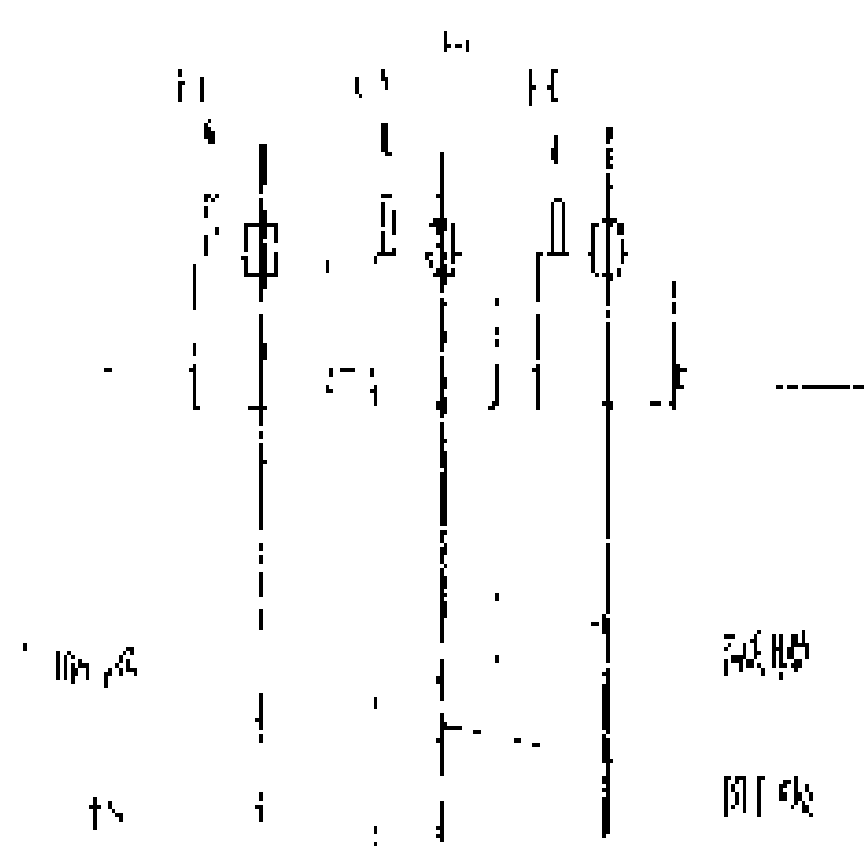


图1 箱型水电解槽

水电解槽的型式很多，主要有箱型和压滤机型两类。箱型水电解槽是在一电解槽内交互、平行排列多个并联连接的阳极和阴极，如图1所示。压滤机型水电解槽以其形似过

水电解的单个电解槽由槽体、阳极、阴极、隔膜组成。槽体材料多用钢材，阳极为镀镍钢板，阴极为碳钢板，隔膜材料有聚丙烯、多孔镍板、钛酸钾纤维等。

滤用的压滤机而得名，如图2所示。它是将若干单槽直列排成，电极的一面为阳极，另一面为阴极，故称复极。压滤机型水电解槽的特点是占地面积小，利用率高。

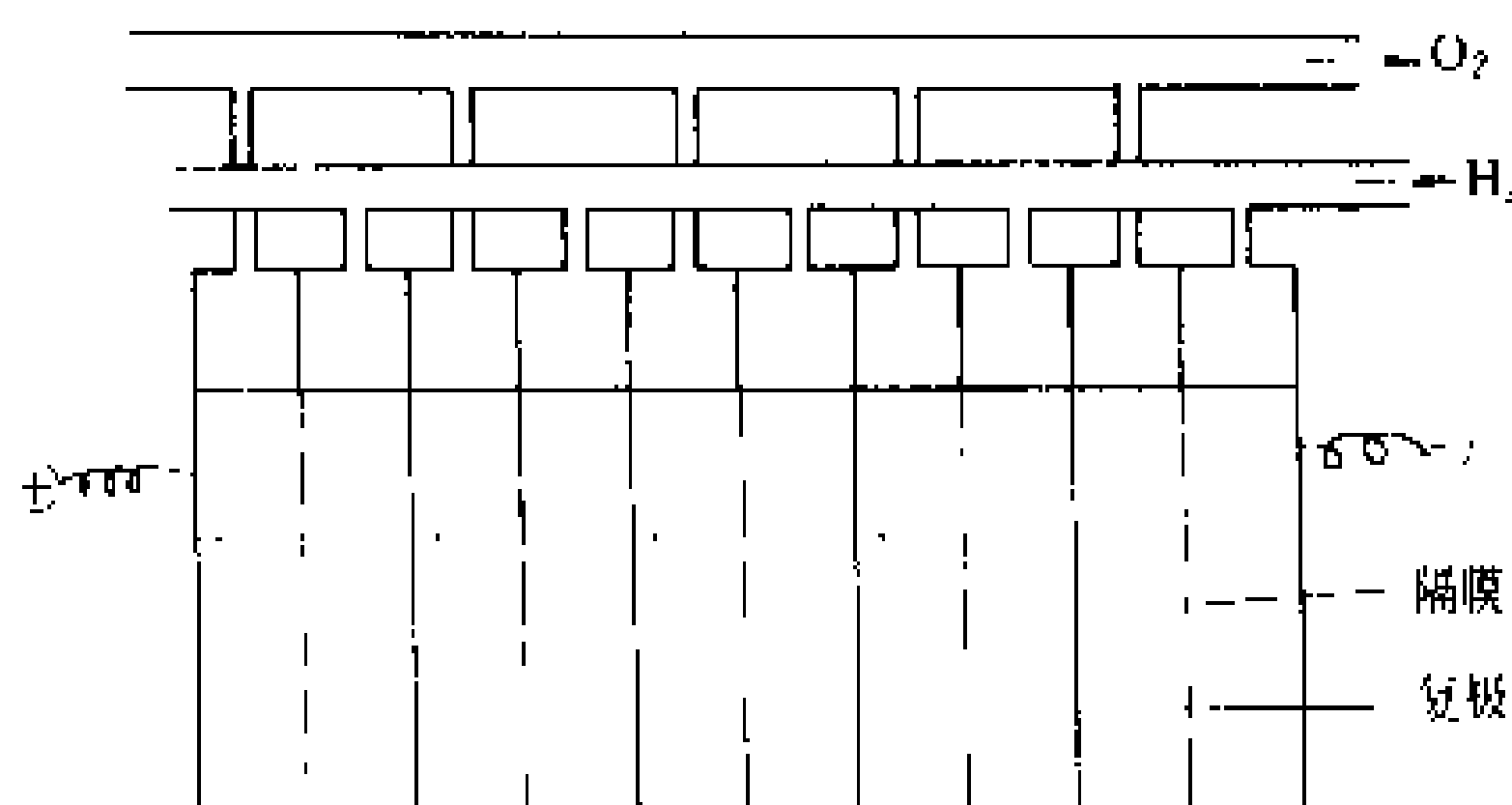


图2 压滤机型水电解槽

参考书目

电子工业部第十设计研究院编著，氢气生产与纯化，哈尔滨：黑龙江科学技术出版社，1983

(马荫华)

shuini gongye yongdian

水泥工业用电 (electrical energy utilization of cement industry) 水泥是水硬性胶凝材料，与水混合后，在常温下经过物理化学变化过程由浆状或可塑状变为坚硬固体，并可将松散材料胶结为整体。按用途分为普通水泥和特殊用水泥。水泥的强度以水泥产品的标号表示，标号越高强度越大。生产水泥的主要原材料为石灰石、粘土、铁砂、石英、煤炭等。其生产工序一般经过矿石开采、破碎、生料粉磨、煅烧、熟料粉磨、包装、运输几个环节。

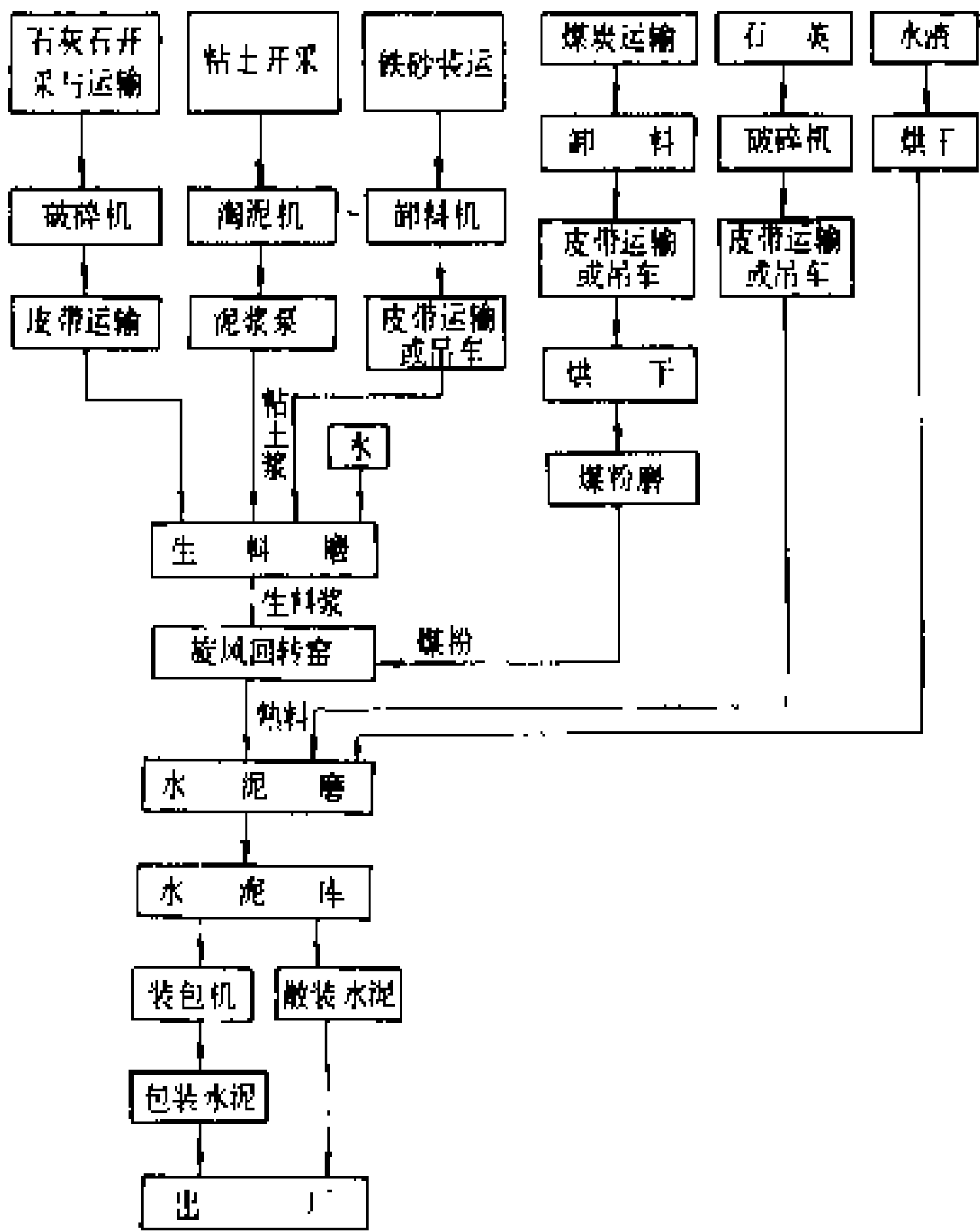
水泥生产工艺按生料制备的方法分为湿法、干法和半干法三种；按煅烧窑的结构分立窑、回转窑两种。立窑生产工艺又分为普通立窑和机械立窑两种。煅烧热源主要是无烟煤，也可掺烧焦炭末或部分烟煤。大中型水泥厂多用回转窑生产工艺，地方小型水泥厂多用立窑生产工艺。

水泥生产的基本过程是：把几种原料按适当比例配合后，在生料磨中磨成生料粉；把生料粉送入窑中，在1450℃的高温下经过一系列物理和化学变化，煅烧成熟料，在熟料中配以适量其它材料(石英和水渣或石膏和混合材料)，在水泥磨中磨成细粉，即制成水泥。水泥生产工艺流程见图。

水泥生产的大型用电设备较多，生产用电中生料破碎、球磨，煅烧窑用煤粉磨、鼓风机、熟料球磨的用电占全部生产用电的60%~70%。其中球磨机的用电量最大，约占全部生产用电的40%~50%。水泥的单位产品(产值)耗电随生产工艺而异，一般在70~



150 kW·h/t, 采用回转窑生产工艺生产的水泥单耗大于用立窑生产工艺生产的, 标号高的水泥单耗大于标号低的, 先进的工艺耗煤少而耗电多。水泥生产大部分工艺为三班制生产, 年用电最大负荷利用小时在6000 h 左右, 加大生料仓贮料量使生料球磨机避开电网高峰负荷期运行是提高用电负荷率的有效方法。



水泥生产工艺流程

水泥厂的用电负荷大部分是二级负荷, 一、三级负荷较少(见用电负荷级别)。采用湿法回转窑生产工艺的水泥厂一级负荷一般占全厂负荷 2.5% 左右, 采用干法回转窑生产工艺的水泥厂一级负荷占全厂负荷 1.5% 左右。

(王明德 顾嘉来)

suodao diankong xitong

索道电控系统 (electric drive control system for aerial ropeway) 用以实现索道运输的电力拖动和控制等电路组合的整体。索道是沿架空钢索运动的运输设备。按其不同的运行方式和用途有往复式和循环式索道, 客运和货运索道。索道源于公元前 20~30 世纪的巴比伦, 在中国三国时代已有用索道运送军队的记载。索道被广泛用于丘陵、山区的货运、客运或滑雪运动, 水利工程常用它运送土石方和浇灌混凝土大坝, 在林区应用也很普遍。(参见彩图插页第 15 页 52 图)

索道基本上是恒转矩负载。索道电动机有时按电动方式运行, 有时按制动方式运行。电控系统应使索道在各种运行方式下都能安全可靠地按照规定的速度

图运行。

主传动系统 主传动系统的选择取决于索道的类型、运行速度和电动机运行方式。①按电动方式运行的货运索道和低速(小于或等于 3.5 m/s)客运索道一般采用绕线转子感应电动机传动系统。②按制动方式运行的循环式货运索道和速度较高的往复式客运索道, 为了获得较好的制动特性和平稳的速度特性, 一般采用直流电动机传动系统。③按制动方式运行的往复式货运索道一般采用带能耗制动的交流绕线型电动机传动系统。

电控系统 无论是何种主传动方式, 电控系统一般应满足: ①适应最大不平衡负荷时的安全可靠运行和检查钢索时的低速及反方向运行; ②平衡钢索张力的重锤箱越位时作用于紧急停车; ③按制动方式运行的货运索道和所有客运索道都装速度表; ④客运索道应配备辅助驱动机, 主要用于救护, 其原动机可以用电动机(有备用电源时)或柴(汽)油机; ⑤电动机应设过负荷、短路和失压保护; ⑥货运索道采用电磁制动器和液压电磁制动器, 客运索道还应配备液压制动器, 在电动机未接通电源之前, 所有制动器不能同时通电。

制动型索道还应设下列连锁和保护: ①正在按制动方式运行时, 紧急制动器不允许断电; ②主令开关在零位时才可以从制动方式运行转换到按电动方式运行; ③不采用混合制动, 线路接触器与直流接触器之间设连锁; ④制动回路和测速回路设监视保护。

往复式客运索道电控系统的核心环节是行程调节器, 它直接影响和决定了整个电控系统的安全和控制特性。行程调节器由机械式行程指示器、测速发电机和减速、停车、越位开关以及可编程序行程控制器组成, 形成机械和微机双重监控系统, 对行程和速度分别进行监视和控制。近年来也有全部采用微机系统对索道的运行进行全面监控, 只在“停车”、“越位”时辅以机械开关。往复式客运索道还应有下列保护: ①车厢越位和由此引起紧急制动后不能再向越位方向接通电动机; ②主令开关不在零位时不能松开紧急制动器; ③车厢到位停车后不能再向原运行方向接通电动机; ④紧急制动时电动机应断电, 工作制动器紧闸时电动机不能加速; ⑤完善的限速保护措施, 当速度超过 10% 和 15% 时应分别作用于信号和紧急停车。

循环式客运索道还应该有线路脱索保护, 如果采用活动抱索器时还应专门设置检查活动抱索器工况的定距离发车装置。

空中客车 索道驱动机都是配置在站房内。作为索道的特殊型式是将驱动机配置在车厢内。其一是自行式索道(Rope monorail), 它是以柴(汽)油机作为



原动机驱动油压泵，以液压传动方式使吊厢沿钢索运行。其二是空中客车（Aerobus），其形如电车，只是车轮和驱动机构都在车厢顶部，悬挂在钢索下边，和钢索平行架设电力牵引接触网，它可以单节车或几节车厢编组运行。第一代空中客车在 1972 年首先由瑞士的 Mueller 工程公司在苏黎世附近的 Schmerikon 建

成并进行工业性试验研究。1975 年第二代空中客车开始在西德曼海姆市联邦公园博览会上运营。第三、四代空中客车相继在马来西亚的吉隆坡和美国的曼哈顿建成并运营。

（李临明）

T

teshu changsuo zhaoming

特殊场所照明 (special place lighting)

在特殊环境或场所使用的照明。特殊场所是指非正常环境的建筑物或作业场所，如高温、低温、潮湿和水汽、爆炸、火灾、粉尘、腐蚀性气体与振动等场所。由于这类场所对照明的特殊要求，在照明设计，特别是照明器材，如灯具和电气附件选择等都有别于一般场所的照明。

高温场所照明 这类场所如冶炼、铸造、玻璃加工等车间的特点是环境温度高，热量上升使天棚附近形成高温区，加上灯泡点燃时产生的热量，加速绝缘器材老化或发生烧损事故。因此，这类场所要求灯具应具有良好的散热性能，降低自身的发热量，灯具的灯头和配线均应选用耐热产品；布置时，灯具应尽量设置在温度较低的位置，镇流器也应与灯具分开安装。

低温场所照明 低温场所如环境温度在 $-60\sim 5^{\circ}\text{C}$ 时，光源的光输出和启动特性都有别于常温条件。

低温对光输出的影响 低温对白炽灯光输出没有影响，对汞灯、金属卤化物灯和高压钠灯等光输出也几乎没有影响，但对荧灯光输出影响较大，如环境温度 25°C 时的光输出为 100% ， 10°C 时则下降至 90% ， 0°C 时下降为 80% 。

低温对启动特性的影响 白炽灯在低温下可瞬时点燃，只是启动电流要比常温时高；荧光灯在 5°C 以下启动困难，必须使用二次电压高的特殊镇流器，使它能在低温下启动；气体放电灯(HID)低温下的启动特性更差，当温度为 -30°C 时多数灯无法启动。另外，由于环境温度低，灯具还可能结露、结冰，而且水或冰浸入灯具会使绝缘降低。所以，低温场所照明设计，如 0°C 以下的冷冻库照明宜采用白炽灯，一般冷库可采用荧光灯或低功率高强度气体放电灯。另外，应选用防潮型灯具和气密性开关。镇流器不宜设在低温场所。

潮湿和有水汽场所的照明 在含有大量水蒸气和潮湿的场所如浴室、食品车间、制药车间、电镀车间

以及用水喷洗的隧道、车辆清洗场、游泳池等场所容易出现照明器件绝缘不良、接触不好以及锈蚀等现象，甚至会引起事故。对这类场所的照明应根据场所的潮湿和水汽程度，选用具有相应防水型灯具。

防水型灯具按防护等级共分8类：防滴、 15° 防滴、防淋水、防溅水、防喷水、防猛烈海浪（强力喷水）、防浸水、防潜水。这类灯具用IPX□表示。方框中数字代表分类等级。如经常用水冲洗的隧道或车间应选用防喷水型IPX[5]级；游泳池边有被水淹没的可能应选用防浸水型IPX[7]级；在喷水池内水下照明灯应选用防潜水型IPX[8]级等。在环境相对湿度 90% 以上场所，灯具应采用相应防湿型灯具。

爆炸危险场所照明 环境内因存在有爆炸或燃烧危险的气体、液体、蒸气以及粉尘等物质，只要有火源（明火、炽热体、电弧、电火花、金属撞击产生火花等）就会引起爆炸或燃烧。爆炸性物质分为三类：

I类：矿井甲烷；

I类：爆炸性气体和蒸气；

II类：爆炸性粉尘纤维。

爆炸性气体及可燃蒸气与空气混合成爆炸性气体场所，按照这种爆炸性物质出现的频度、持续时间和危险程度将场所划分为三个级区：0级区、1级区和2级区。0级区最危险，指在正常情况下爆炸气体混合物会频繁出现或长时间存在的场所；1级区指在正常情况下爆炸性混合物有可能出现的场所；2级区指在正常情况下不会出现危险，仅在不正常情况下才会出现危险的场所。0级区一般不能设置灯具，1级区选用隔爆型灯具，2级区可用隔爆型或增安型灯具。

爆炸粉尘如铝粉、镁粉、合成树脂粉、小麦粉等，按危险程度将场所分为两个区，即10级区和11级区。10级区指在正常情况下可能频繁出现成长时间存在爆炸粉尘或纤维与空气混合物的场所。11级区指仅在不正常情况下偶尔出现爆炸危险的场所。二者均应选用防尘密闭型灯具。在11级区应使用防尘型灯具。

腐蚀性气体场所的照明 含有酸、碱、盐等腐蚀性气体或溶液的场所，如工厂的腐蚀性气体对灯具腐蚀严重，绝缘及充电器件因腐蚀会引起绝缘和接触不良，使灯具和器件因锈蚀造成维修困难甚至损坏。因此，这类场所应选用由耐腐蚀材料如玻璃钢、强化树脂、不锈钢等，或涂有耐腐蚀物质的材料制成的密闭灯具。

火灾危险场所照明 火灾危险场所分为三级：H—1级为有可燃液体场所；H—2级为有悬浮状、堆积状的可燃粉尘或可燃纤维场所；H—3级为有固体可燃物质的场所。火灾危险场所灯具的选型如表所示。

火灾危险场所灯具的选型表

场所分级	H—1	H—2	H—3
固定安装 移动式 and 携带式	保护型 防尘型	防尘型 防尘型	开启型 保护型

(赵振民)

tezhong diannengbiao

特种电能表 (special watt - hour meter)

具有各种专门用途的电能表。除了普通使用的单相、三相有功、无功电能表外，均属于特种电能表。

特种电能表包括最大需量电能表、复费率电能表、标准电能表、直流电能表、定量电能表、损耗电能表等。

最大需量电能表 它是一种既能测量有功电能(kW·h)又能测量用电最大需量(kW)的电能表。一个用户的用电功率是随时间变化的，在一定时间段(中国及世界多数国家采用 15 min)内的平均用电功率称为用电需量，而在一个电费结算期(如 1 个月)内用电需量中的最大值，称为该用户的用电最大需量。实行两部制电价(见基本电费)的用户，可采用安装最大需量电能表，记录其最大需量，并按记录值计算基本电费。常见的最大需量电能表，有记录式、指示式两种类型：

(1) 记录式。它能记录整个电费结算期内每个时间段(如 15 min)的用户需量，还能记录最大需量和最大需量出现的时间，所显示的用电功率实际情况可供调度工作参考。该表的特点是机构复杂、造价高、运行维护比较麻烦，故只用于一些重要用户或作临时测量观察之用。

(2) 指示式。它能记录一个电费结算期(如 1 个月)的最大需量。其结构简单、价格便宜，最为常用，但不能反映最大需量出现的具体时间。

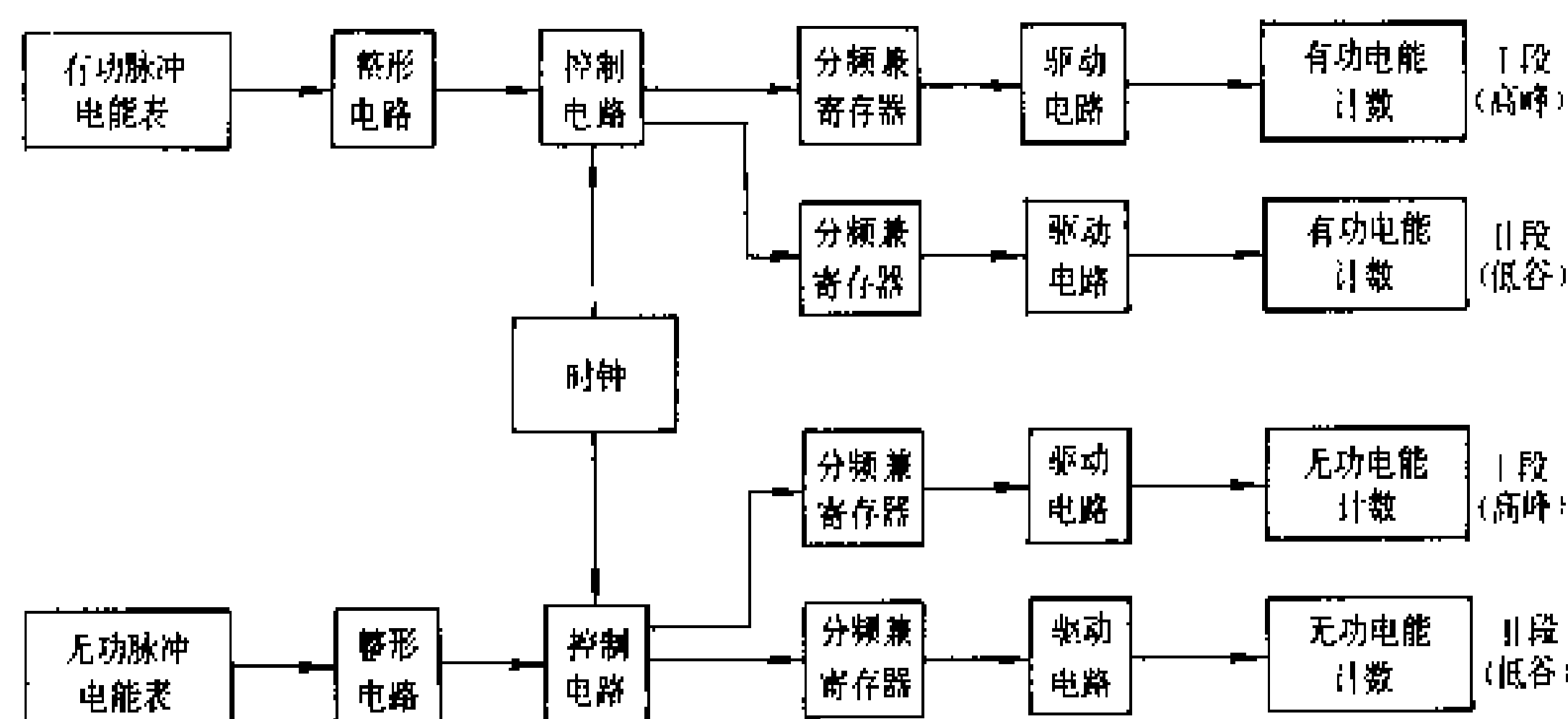
中国采用的最大需量是平均最大有功功率值，有的国家采用平均最大视在功率值，并有相应的最大需量电能表。

复费率电能表 又称分时计度电能表。它将一天 24 h 划分成几个时间段，分别记录每个时段的用电量，以便对每个时段的用电量采用不同的电价。一般电网高峰时段的电价比电网低谷时段的电价高几倍，甚至十几倍，以鼓励电力用户在电网低谷时多用电，在电网高峰时少用电，用经济手段进行用电负荷调整。复费率电能表有以下几种类型：

(1) 用普通电能表另加几只计度器，用时钟机构控制计度器运转，按不同时间段切换至不同的计度器，记录各时间段内的电量，达到分时计算电量和电费的目的。根据需要可以有双费率(即两种电价的)电能表、三费率(即三种电价的)电能表。

(2) 用同规格的电能表数只，其电流线圈串接，用时钟机构控制切换电能表电压回路的方式，使各只电能表按照需要在不同时间分别投入计量电能。这种方法比较原始，表多，占位置多，现已不采用。

(3) 采用脉冲电能表及数字电路组成的复费率电能表。该复费率电能表的原理见框图。



复费率电能表原理框图

(4) 全电子式复费率电能表，能实现更多费率的计量。

标准电能表 用以检验电能表准确度的标准器具。标准电能表的原理结构和普通电能表相同。标准电能表的准确度与被检表的准确度有关。中国交流电能表检定规程规定：检验 3.0 级和 2.0 级无功电能表需用 0.5 级标准电能表，检验 2.0 级和 1.0 级有功电能表需用 0.2 级标准电能表，检验 0.5 级有功电能表需用 0.1 级标准电能表。

中国采用的标准电能表准确度等级有 0.5, 0.2, 0.1, 0.05, 0.02, 0.01 级。

标准电能表与普通电能表的工作原理相同，但由于用途不同，所以在外形、结构、特性等方面与普通电能表有以下区别：①标准电能表准确度高。②记数机构不同。普通电能表计度器累计电能值为千瓦小时(kW·h)数，由于累计数值较大，所以计度器一般有 5 位或 6 位；标准电能表的计度器或数码管指示值不是千瓦小时数，而是圆盘转数或脉冲数，并有置零机构。③工作状态不同。普通电能表投入运行后，电压线圈带电，当有负荷时，电流线圈流过负荷电流，电能表的圆盘立即转动；而标准电能表只有在使用过程中才带电，其电压回路用手动或自动开关控制，随时可以通电或断电，使它启动或停止。④普通电能表一般是固定安装式，而标准电能表一般是携带

式。⑤普通电能表是单一电压、电流量程的；标准电能表大多做成多量程的。⑥标准电能表的负载特性平稳，电压、频率对其影响要小，对其自然特性也有要求。

直流电能表 用于计量直流电能的电能表。这种电能表常用于计量用直流供电的电解、直流电动机所消耗的电能。直流电能表有电动式直流电能表和水银式直流电能表。

定量电能表 又称预付电费电度表。它由普通电能表和定量控制装置(如特制硬币、磁卡、电卡等)组成。在普通电能表电流线路中增加一对触点，它的开闭受定量控制装置控制，达到定量电能量(kW·h)的目的。这类电能表有投币电能表、磁卡电能表、电卡电能表。

(1)投币电能表是将一种特制的硬币投入投币机构，投币电能表才能通电运转。每只硬币代表一定的电能量(kW·h)，当所用的电能量(kW·h)等于预置的电能量(kW·h)时，电能表电源断开。

(2)磁卡(电卡)电能表是将一种特制的磁卡(电卡)插入特定的机构，磁卡(电卡)电能表才能进入工作状态。当累计电量与磁卡(电卡)的定量电量进入等值状态时，电子取样电路输出一个终止供电信号，同时发出信号提示用户换卡。

损耗电能表 用来专门测量电能损耗的电能表。主要有两种：

(1)铜损电能表。用来测量变压器铜损和输电线路的线损电量的电能表，也称线损表。其基本工作原理是使电能表驱动力矩满足 $M_Q = CI^2$ 的关系(式中 M_Q 为电能表驱动力矩； I 为负载电流； C 为比例常数)。

(2)铁损电能表。用来记录变压器的铁损电量的电能表。

由于损耗电能表结构复杂，又要多装表计，因此已较少使用，甚至已不再生产。

(陈 侃)

tiaoguang zhaoming kongzhi

调光照明控制 (dimmer lighting controlling)

指对光源亮度强弱变化的调节。通常是通过改变光源输入电压来控制光源。实现这种控制功能的开关称为调光开关。调光开关种类很多，一般分为手动型和自动型。

手动型调光照明控制 需要人为地操纵开关，才能达到调整光源亮度的目的，按控制原理可分为电容串联型、二极管串联型、电阻串联型、自耦变压器型、晶闸管型和晶体管型等。

(1)电容串联型：如图1所示，它是通过电容C的降压作用来改变光源的输入电压，从而改变光源的亮度。

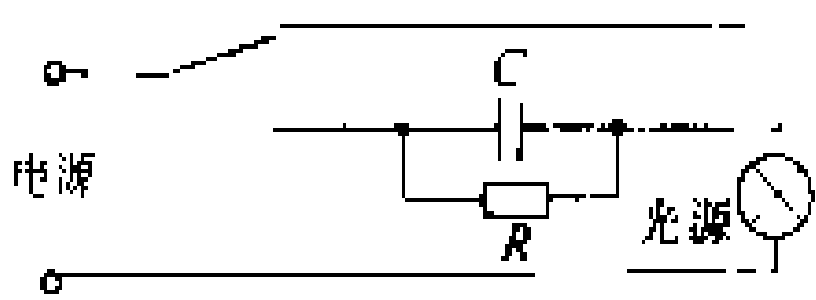


图1 电容串联型调光原理

(2)二极管串联

型：如图2所示，它是利用二极管V的半波整流作用来降低光源的输入电压，达到改变光源亮度的目的。

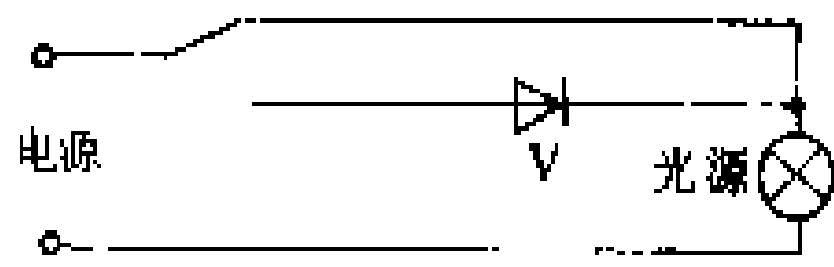


图2 二极管串联型调光原理

(3)电阻串联

型：如图3所示，它是利用电阻R的分压作用来改变光源的输入电压，从而改变光源的亮度。

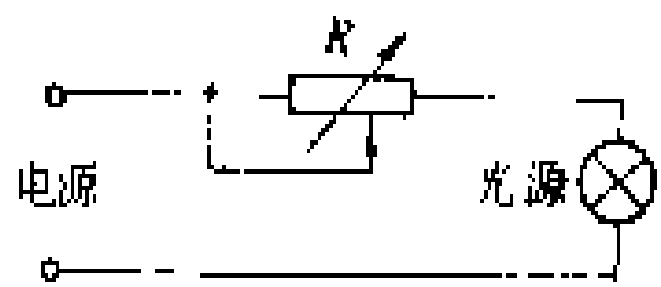


图3 电阻串联型调光原理

(4)自耦变压器型：如图4所示，它是利用自耦变压器T一次绕组匝数的可调性来改变光源的输入电压，从而改变光源亮度。

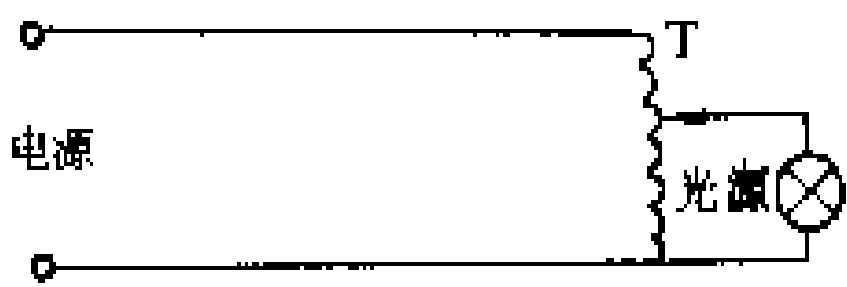


图4 自耦变压器型调光原理

(5)晶闸管型：如图5

所示，它是利用调整电位器电阻 R_w 来改变双向晶闸管的导通角，从而达到改变光源的输入电压，调整光源亮度的目的。

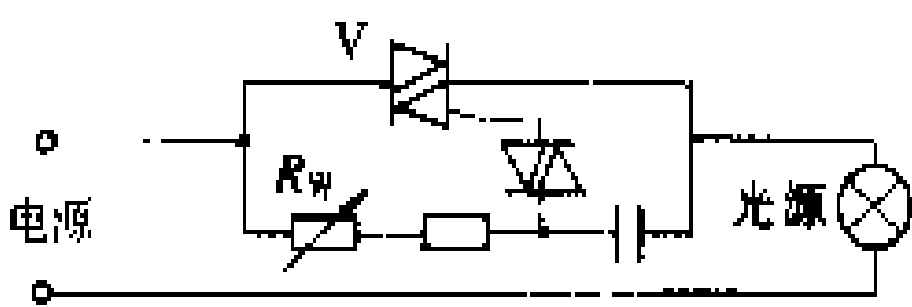


图5 晶闸管型调光原理

(6)晶体管

型：如图6所示，它是利用调节 R_w 来改变晶体管V的输入脉冲信号的宽度，从而改变光源的输入电压，达到调整光源亮度的目的。

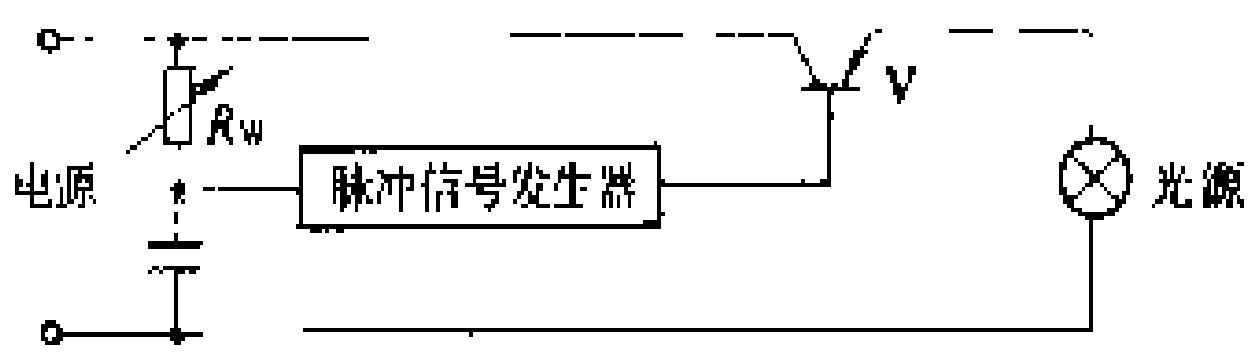


图6 晶体管型调光原理

手动型调光照明控制的操作方式有旋转式、按动或轻触式、感应式、遥控式几种。

(1)旋转、拨动或推动式：根据被调节元件的不同结构，采用旋转、拨动或推动等方式达到改变元件值的目的，实现对光源亮度的调节。

(2)按动或轻触式：采用按动按钮开关或轻触微动开关的办法实现调光的目的。这种开关一般需要在调光开关基础上增加相应的控制回路，以完成调节元件值或改变光源输入电压之功能。



(3) 感应式:这种开关是新发展起来的调光技术。它由感应头、放大器、逻辑分析运算电路和调光开关组成,如图 7 所示。它除了具有开、关和调光功能外,还有光亮度保持功能。



图 7 调光开关的组成

(4) 遥控式:用于远距离调光的一种控制手段,一般由发射机、接收机和调光开关组成,如图 8 所示。

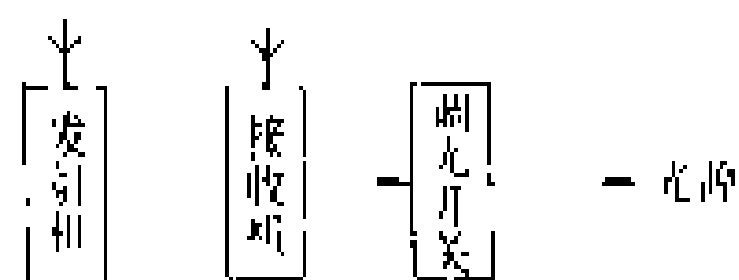


图 8 调光开关的
遥控操作

人工操纵发射机发射出一个或一组信号,接收机将接到的信号放大整形后通过调光开关来调整光源的亮度。

遥控调光方式很多,可分为无线电遥控、红外线遥控、电光源遥控、声波遥控、超声波遥控和次声波遥控(见照明控制)。各种不同的遥控方式都有其固有的特点和不同的用途。无线电遥控是采用不同频率、不同调制方式的无线电载波信号来实现远距离调光控制。用于近距离的红外线遥控调光,需要有一个远红外线发射源,其调光的过程由发射机发出的信号所决定。电光源遥控调光的过程需要有另外一个电光源信号来决定(见光电照明控制)。声波、超声波和次声波遥控调光,是把音频照明控制与调光技术结合为一体的控制系统(见音频照明控制)。

自动调光照明控制 利用传感器,运算放大器识别分析电路,取代了手动调光的手动部分,用有关物理量的变化来直接控制照明强度和光源的启闭,因而省去了人为地操作。

(1) 光控调光:按人为规定的照度标准,随时监视环境照度,自动调整光源亮度。它是把光电照明控制与调光技术合为一体的照明控制系统。

(2) 声控调光:以被控区域内声音强弱或频率高低的变化来控制光源的亮度,是声控照明和调光技术合为一体的照明控制系统。

(3) 微电脑调光:是利用微机技术,将一组光源的开、关、亮度及色调组合按不同用途编好程序,以此程序来控制光源的自动调节,多用于高级寓所、会客厅、会议室、舞厅等,以灯光的变化制造出各种不同气氛的环境。

发展概况 简单的调光照明控制,多用于对家庭、办公室、工作间等独立或小区域照明光源的控制。由多路或多种调光开关组成的调光系统(调光台、调光柜)适用于演播厅、舞台、歌厅,灯光运动场等,

以制造情绪,烘托气氛。

调光照明控制最初用于舞台照明。原始的调光开关均采用大功率可调电阻和自耦调压变压器,效率低、功耗大、体积笨重,又不易于实现自动控制,应用范围受到了很大限制。

随着大功率晶体管,特别是大功率晶闸管元件的出现,促使调光技术得到了飞速发展。以晶闸管元件为主控开关的调光器效率高、体积小、造价低。调光照明台灯与壁灯等,在家庭、宾馆、饭店、办公室照明中得到了广泛采用。另有调光吊灯、顶灯、追身灯、装饰灯等也大量用于礼堂、影院,作为舞台照明和观众席照明。调光障碍灯主要用于航海、航空的障碍指示。晶闸管调光器很容易配合微型计算机等智能设备,实现大规模调光自控系统。

用于调光控制的晶闸管,存在着一个突出的缺点,即它是利用改变交流电的导通角来实现调压功能的,流过它所控制的光源的电流不是正弦波信号,频谱很丰富,但该信号的电磁波辐射,给某些无线电设备和家用电器等带来了新的干扰。因此,人们正在努力寻求一种性能更好的调光器件或调光办法。

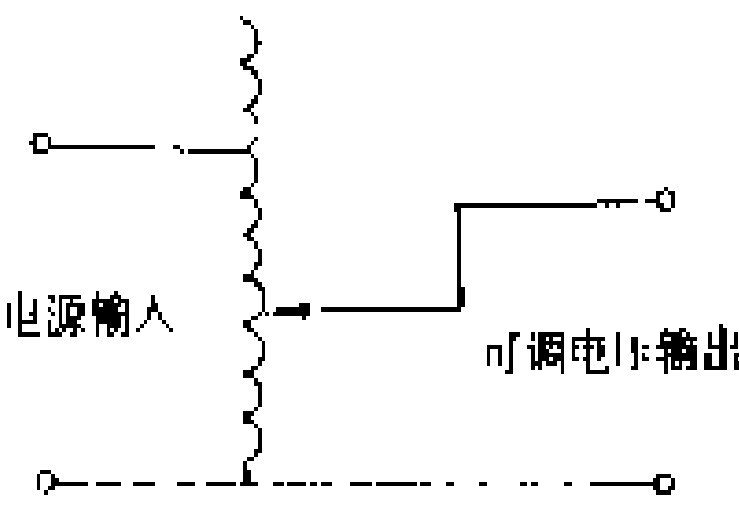
(高汉卿)

tiaoyaqi

调压器 (voltage regulator) 利用改变电磁感应的方法,在一定范围内调节输出电压的电器。调压器用于需要调节电源电压的电器和设备中,按电流性质分为交流调压器和直流调压器,按结构分为机电式和静止式。

机电式调压器 在调节过程中需用机构来进行传动。交流机电式调压器又分为接触调压器、感应调压器及移圈调压器。

接触调压器是利用变化由石墨制成的电刷(也称碳刷)的滑动接触位置,改变自耦线圈中公共线圈和



交流单相接触调压器
原理图

串联线圈的匝数比,达到调压的目的,如图所示。接触调压器的调压范围广,波形特性好。其输出电压的波形为正弦波,但若电刷滑动接触过程中流过很大的电流会造成电刷温度过高,

因而接触调压器的功率不能做得很大。单相接触调压器的功率一般在十几千伏安以下。

感应调压器是一种无接触电刷的交流调压器,实质上是一制动状态下的绕线式异步电动机,定子绕组为其一次线圈,转子绕组为其输出二次线圈,通过改变



定子与转子间的相对角位移来改变一、二次线圈间感应电动势的相位(三相)或输出电压幅值(单相),从而达到改变输出电压值的目的。交流感应调压器分为单相式和三相式,由于无电刷,容量可以做得较大,高达几百千伏安,但输出波形有畸变,波形失真较大。

移圈调压器是通过移动一个自身短路的并可上下移动位置的线圈来改变一、二次线圈间的耦合磁链而实现调节输出电压的目的。此种型式的调压器的功率也可做到几百千伏安,同样,其输出电压波形失真度较大。

静止式调压器 分为磁性调压器和半导体调压器。

磁性调压器是用交流磁性电抗器与负载串联,借调节磁性电抗器的电抗值来实现调节输出电压的目的。磁性电抗器是在两个铁芯上分别绕有交流线圈和直流线圈,借改变直流励磁电流的大小来改变铁芯的磁导率,磁导率的改变就改变了交流线圈的电抗值,使输出电压值改变。此种型式的输出电压波形差,有较多的谐波分量,体积大,重量重,优点是过载能力强,结构简单,工作比较可靠。

半导体调压器分为晶体管调压器和晶闸管式调压器。晶体管调压器的工作原理与晶体管稳压电源相似,由于晶体管的输出功率不大,故输出功率受到了限制,其输出电流在几十安以下。晶闸管式调压器的基本工作原理是用两只反并联的晶闸管(或用一只双向晶闸管代替)串联在电路中,用改变触发晶闸管的控制极的触发脉冲相位来改变输出电压平均值的大小,以实现电压的调节。晶闸管的功率可以做得较大,因此调压器的输出功率也可做得较大。晶闸管调压器的体积小,重量轻,但波形严重失真,谐波分量较大,采用此种调压器时,需用特殊技术处理以改善波形。

(甘懋云 方鸿发)

tiehejin gongye yongdian

铁合金工业用电 (electrical energy utilization of iron alloy industry) 所有炼钢用的中间合金不论含铁与否都称之为铁合金。铁合金包括由一种或几种金属或非金属元素与铁组成的合金、某些纯金属炼钢添加剂、氧化物炼钢添加剂等,通常用作炼钢的脱氧剂和合金元素添加剂。在炼钢过程中,先用氧降低铁中碳含量并除去硫、磷等有害杂质,致使铁中含氧量增加,再利用铁合金中与氧亲和力较强的元素除去铁中氧。用于脱氧的铁合金有硅铁、锰铁、硅锰合金等。不同的钢种有不同的性能要求,需要在冶炼过程中利用不同铁合金添加不同的元素,如锰、铬、钨、钼、钒等。铁合金生产过程耗用大量能

源,一般称铁合金为“载能体”,在铁合金总产量中用电炉生产的占大多数,是耗电大户。由于电炉单台容量大,在连续运转时负荷平稳,开停炉操作较简单,间断生产时,除增加单位产品耗电外,无不安全威胁,因此在缺电地区常被作为机动限电对象。

生产工艺 有高炉法、电炉法、金属热还原法等多种生产方法,应用较普遍的为高炉法和电炉法两种。

高炉法 高炉法生产工艺与高炉炼铁相似(见钢铁工业用电),具有生产率高、成本低的优点,但由于高炉内氧化带的存在和冶炼温度较低,一般高熔点或难还原的氧化物在炉内难以还原,只适于生产少数铁合金品种,如碳素锰铁、低硅硅铁(含硅 20%以下)和镜铁(多用于铸造)。

电炉法 用埋弧炉(又称矿热炉)生产铁合金可以达到较高的温度,一般铁合金品种都可在电炉内生产,电炉铁合金产量占全部铁合金产量的 70%以上。电炉法生产工艺是将含有一定品位所需元素的矿石、还原剂(冶金焦、半焦、石油焦或木炭)、熔剂(石灰、硅石)、钢屑放入埋弧炉内,并将电极工作端埋入炉料层内,通以电流后电弧热和电阻热在熔池内产生高温冶炼,炉料从顶端不断加入炉内,不断熔化,形成的合金液沉于炉料下端,渣子浮在合金液面上,到一定时间放出炼成的合金熔液,排出渣子。

金属热还原法 又称炉外法,是利用铝或硅做还原剂还原金属氧化物放出热能产生高温进行的冶炼。用硅做还原剂的主要产品是钼铁,用铝做还原剂的主要产品是钛铁、金属铬、高硼铁、铌铁等。它的特点是设备简单,能生产难还原元素的低碳铁合金或纯金属,但此法消耗大量较贵重的金属和发热剂,因而成本较高。

用电特点

(1) 电炉铁合金的生产为连续生产,负荷曲线较平稳,一般用电负荷率在 90%以上。

(2) 单耗与埋弧炉的容量大小和矿石品位有关。大型炉效率高,产品单耗低;矿石品位高,冶炼产品单耗较低。主要品种电炉铁合金单耗如表所示。

主要品种电炉铁合金单耗

电炉铁合金名称	单耗(kW·h/t)	电炉铁合金名称	单耗(kW·h/t)
45 硅铁	4400~5100	碳素铬铁	2000~3500
75 硅铁	8100~9600	中低碳铬铁(精炼)	1600~2500
碳素锰铁	2500~4800	钨铁	2700~3200
硅锰合金	4000~5200	钒铁	2300~2600
中低碳锰铁(精炼)	1000~2200	硅钙合金	14000~17000

(蒋凤铎 顾嘉果)



tielu xinhao

铁路信号 (railway signaling) 利用特定物体(包括灯)的颜色、形状、位置、数目或音响等向铁路行车人员传达有关列车运行条件、行车设备状态及行车的指示和命令等信息的控制技术。铁路信号是保证铁路行车安全、提高区间和车站通过能力、提高铁路运输的设备利用率和经济效益、改善铁路员工劳动条件的一种现代化技术手段。铁路信号是信号、连锁、闭塞设备的总称。此外,行车调度控制系统、列车运行控制系统和驼峰调车控制系统也属于铁路信号的范畴。

发展简况 铁路信号的发展史,体现了由人工劳动向机械化、电气化、电子化、计算机化发展从而实现半自动化、自动化过程。1825年,世界上第一列火车在英国运行时,引导列车前进的信号便随之出现。最初是由人手持信号旗在列车前骑马引路。随后美国又采用沿线每隔5km悬挂黑白两种颜色的球形固定信号,来表示接发列车、通过或停车的信息。1839年,英国铁路开始用电报传递列车运行消息。1841年,英国出现了臂板信号机。1843年,英国首先采用机械集中连锁。1851年,英国铁路用电报机实行闭塞。1866年,美国利用轨道接触器检查闭塞区间有无机车车辆。1867年,出现点式自动停车装置,这种装置能强迫列车在显示停车信号的信号机前停车。1872年,美国人W.鲁宾逊(William Robinson)发明了闭路式轨道电路。1904年,美国开始采用电气集中连锁。1923年,美国铁路研制了机车信号,并于1925年正式应用于铁路。1925年,美国铁路协会(AAR)决定:美国各铁路、公路平交道口必须装设标准化防护设备,以后,铁路、公路平交道口防护设备发展起来。1927年,美国铁路采用了调度集中控制装置。1929年,美国铁路开始使用继电式电气集中连锁。20世纪60年代以来,随着电子技术和计算机技术的发展,微机连锁、计算机辅助调度指挥自动化系统和列车运行自动控制系统已在铁路上运用并得到迅速发展,使铁路运输自动化跃上新水平。

中国铁路信号技术的发展,大体可分为五个时期:1903~1910年为铁路信号萌芽时期;1910~1924年为发展机械信号时期;1924~1959年为机械信号向电气信号过渡时期;1959年以后为继电式电气信号发展时期;从60年代中期开始出现电子信号,并逐渐向现代化的电子信号发展。

信号 通过信号设备向铁路行车人员发出的用视觉和听觉可感受的有关指示和命令。

信号分类 铁路信号按人的感觉可分为视觉信号和听觉信号。视觉信号是以物体(包括灯)的形状、颜

色、位置、数目等特征来显示命令内容。听觉信号是利用号角、笛、响墩等音响特征表示命令内容。按信号功能可分为行车信号和调车信号。行车信号用于指挥列车运行;调车信号用于指挥调车。按显示制式可分为选路制信号和速差制信号。选路制信号是用臂板位置或灯光颜色来表示列车应驶入的进路;速差制信号是用臂板位置或灯光颜色特征、数目来表示列车允许速度。

信号设备 信号设备包括信号机和信号表示器。信号机按结构可分为臂板信号机和色灯信号机。臂板信号机是在机柱上装设长方形或鱼尾形臂板,昼夜以臂板的位置、形状、颜色等特征显示命令内容,多用于无可靠交流电地区的车站。色灯信号机以灯光的颜色、数目、亮灯状态(稳定或闪光)和灯列位置等特征显示命令内容。其基本颜色:红色——停车;黄色——注意或减低速度;绿色——按规定速度运行。色灯信号机昼夜显示,需要有可靠的电源供给。色灯信号机按结构特点可分为透镜式色灯信号机和探照式色灯信号机。透镜式色灯信号机灯泡发出的光线,通过两层阶梯型透镜,经折射和着色后平行射出。这种信号机的一个灯具只能给出一种色光,所以一架信号机要装多个灯具。探照式色灯信号机灯泡发出的光线,经过装于机具后部的椭球面反射镜反射,并经色玻璃框着色和透镜折射后射出。这种信号机的色玻璃框用继电器控制,灯光颜色可以变换,所以只有一个灯具就可以给出红、黄、绿三种颜色。

信号机按设置地点和用途可分为固定信号机和移动信号机。固定信号机有主体信号机(主要有进站信号机、出站信号机、通用信号机、遮断信号机、进路信号机、调车信号机、防护信号机、驼峰信号机等)、辅助信号机(主要有预告信号机、复示信号机、驼峰复示信号机等)和附加信号机(主要有引导信号机和容许信号机等);移动信号机主要有停车信号机、减速信号机和减速终了信号机等。

信号表示器一般设于信号机上或线路两侧,主要有发车表示器、调车表示器、进路表示器、发车线路表示器、道岔表示器、脱轨表示器、车档表示器、水鹤表示器等。

闭塞 按列车间保持一定空间间隔的方法,使得在一个铁路区间内,同一时间只允许一列车占用的控制技术。现行闭塞方式主要有半自动闭塞、自动闭塞(固定自动闭塞)和移动闭塞。

半自动闭塞 两站间由车站值班员通过闭塞机办理闭塞和接发车作业,开放信号机。列车从发车站出发后,出站信号机自动关闭。列车到达接车站,经车站值班员确认列车完整到达,办理到达复原手续,才

能解除区间闭塞。每办理一次闭塞，两站区间只能允许开行一列车。

自动闭塞 自动闭塞是现代化铁路信号中的一种新的区间自动控制技术。它对保证行车安全，提高区间通过能力起到显著作用，是一种较先进的闭塞方式。

自动闭塞(见图 1)是把两车站间的线路划分成若干个小区间，叫闭塞分区。每个闭塞分区的始端设有通过信号机，各闭塞分区都设有轨道电路，用以检查闭塞分区的占用情况。列车进入闭塞分区后，通过信号机自动亮红灯，禁止后续列车进入该分区，该分区处于闭塞状态；而当列车驶出闭塞分区时，通过信号机自动地变为允许显示，闭塞分区转为开通状态。自动闭塞对列车的防护是自动进行的，而且两站区间允许在满足安全运行的条件下开行追踪列车，从而可以增大列车密度，提高线路通过能力。

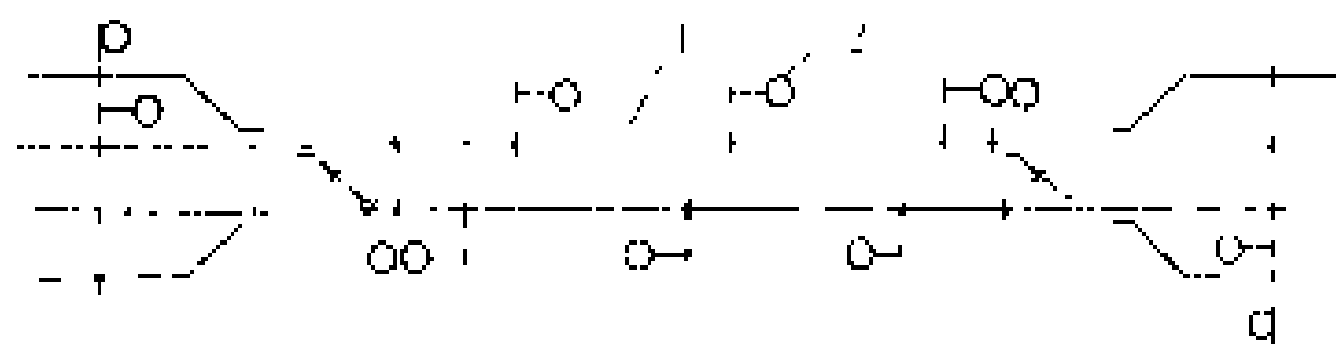


图 1 自动闭塞示意图

1—闭塞分区；2—通过信号机

自动闭塞的供电：区间自动闭塞的用电点是沿铁路基本均匀分布的，一般每隔 1~3 km 即有一信号点。各信号点的主要负荷有：轨道电路、信号机点灯电路等。此外，在自动闭塞区段中小站电气集中连锁设备的供电，亦取自自动闭塞电力线路。

自动闭塞是一级负荷，通常采用图 2 所示的供电方式。图中自动闭塞采用 10 kV 高压供电线路，每隔

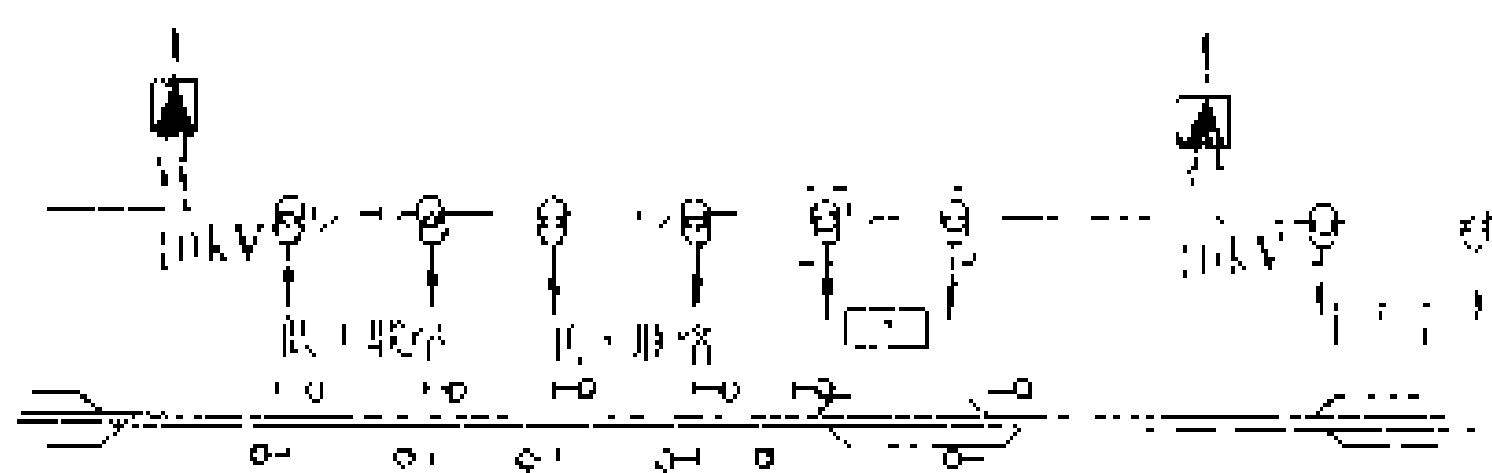


图 2 自动闭塞供电方式示意图

40~70 km 为一个供电臂，供电臂两端分别设有自动闭塞变电所，相互可逆供电。在供电臂的适当地点设置信号变压器。一般区间每供电点设一台 DJ-1.2 型信号变压器；车站设两台 DJ-5(或 DJ-3)型信号变压器。因信号变压器容量较小，可采用杆架式变电台。

在区间的信号变电台上，设有低压联络箱，箱内装有低压联络用继电器和变压器的低压保护装置。信号电源从低压联络箱通过低压电缆引至信号继电器箱。

自动闭塞区段中小站电气集中的室内信号设备都设于车站值班员室，不另设信号楼。其供电取自自动闭塞电力线，一般由两台 DJ-5 型变压器供电，一台主用，一台备用，自动切换。该变压器设在相距 4m 的 H 型杆架式变电台上，每根电杆上设有一个低压配电箱，箱内有变压器的低压保护装置。信号电源从低压配电箱通过两条低压电缆引至车站继电器室的小站电源屏。小站电源屏的供电电源是单相交流电源，容量为 2.5 kV·A。

1981 年后，为了提高供电的可靠性，自动闭塞采用互相独立的双回路供电方式，其中一路为信号专用供电线路，另一路备用，两路电源倒闸时间不超过 0.6 s。在电气化铁路区段，自动闭塞供电容量约为 0.8 kW/km，在非电气化铁路区段为 0.5 kW/km。自动闭塞设备是单相负荷，为了减少对通信线路的干扰，各相负荷的不平衡率应小于 10%。

铁路信号轨道电路，在非电气化区段使用交流工频电源；在交流电气化区段常用直流或 25 Hz 交流供电。

移动闭塞 20 世纪 80 年代以来，随着电子技术、卫星通信和无线通信技术的发展，一些发达国家，如联邦德国、英国、法国、日本、美国等又研制了移动闭塞。移动闭塞系根据列车的相互位置和速度，设置移动的闭塞区间，以保持列车间有恰当的空间间隔，能更大地提高行车密度，并能保证行车安全。移动自动闭塞已在世界的部分地区运用。

连锁 车站内由线路和道岔组成很多列车和调车运行的进路。列车或调车向某一进路运行是根据信号机的显示。只有当进路上的道岔位于进路所要求的正确位置，防护该进路的信号机才能开放；信号机开放以后，该进路的道岔便被锁住不能再转换，允许列车驶入。列车驶入进路后，防护这条进路的信号机立即关闭，显示红灯，不允许其他车辆再驶入。这种利用机械和电气等技术，使车站范围内的信号机、进路和道岔相互间按照一定程序并满足一定条件才能动作的制约关系称为连锁。

按操纵道岔的方式，连锁可分为集中连锁和非集中连锁。常见的非集中连锁有电锁器连锁；集中连锁有机械集中连锁、电气集中连锁和微机连锁。电气集中连锁又可分为进路操纵大站组合式电气集中连锁和中小站电气集中连锁。

电锁器连锁 指道岔、进路和信号机之间的连锁，是由电锁器来实现的，道岔由扳道员在现场分散操纵。

电气集中连锁 通常由继电逻辑电路来实现连锁，所以又称继电集中连锁或继电连锁。电气集中连

锁是通过轨道电路检查股道占用情况,由车站值班员操纵控制台的按钮集中控制信号机和道岔,直接指挥全站的车和调车工作。

电气集中连锁的供电:电气集中连锁的主要负荷有信号机、轨道电路、电动转辙机,控制台和继电器室等。大站电气集中连锁属一级负荷,信号楼应有两路独立的和全昼夜供电的第一类电源。为保证不间断供电,两路电源不能同杆合架,两架空线路之间相互距离要保持大于倒杆高度的足够距离,主备用电源变压器一般分设在两个变电台杆上,每一路电源容量都要能负担全部负荷,两路电源均引入大站电源屏(见图2)。电气集中连锁设备所需各类低压电源均由电源屏提供。大站电源屏由交流屏、调压屏、条件屏、24 V和220 V整流屏组成。交流屏用于直接引入两路三相四线交流电源,并能进行自动或手动切换,自动切换时间小于0.15 s;调压屏用于稳定三相交流电压;条件屏和整流屏用于给各类设备提供所需要的交、直流电压。

微机连锁 20世纪80年代以来,微电子技术和计算机技术迅猛发展,英国、联邦德国、瑞典、美国等国相继研制成功了采用微机的连锁装置。微机连锁在经济和安全方面已显示出强大的生命力。日本、英国、联邦德国、瑞典等国已决定今后将重点发展微机连锁,以逐步取代继电连锁设备。中国铁路微机连锁设备亦已研制成功,并在郑北编组站尾部连锁中投入使用。

行车调度控制系统 行车调度控制系统一般由调度所设备,铁路现场设备及信道三部分组成。调度所设备包括控制台、表示盘(或屏幕显示)、总机及运行记录器等。铁路现场设备包括车站连锁设备、区间闭塞设备及分机。总机与分机间以信道相连。信道可采用架空明线、电缆、载波通路、微波通路等。80年代以来,随着电子器件和微型计算机的发展,行车调度控制系统技术有了很大发展。以微型计算机为基础的按功能划分的模块化分布系统将取代传统的布线逻辑,使系统的功能和通用性进一步增强,可根据需要扩充系统功能,按运用环境灵活增减模块化结构,构成调度集中或调度监督系统。今后,行车调度控制系统将向智能化发展,协助调度员执行控制、监督、环境状态评价、决策等功能,能在更大范围内有效地组织铁路运输工作。行车调度控制系统按系统所完成功能的不同,它可分为调度监督、调度集中和行车调度指挥自动化系统。

调度监督系统 行车调度员利用该系统对管辖范围内的铁路沿线信号设备状态和列车运行状况进行的集中监视。

调度集中系统 行车调度员利用该系统在调度所远程控制和监视管辖范围内铁路沿线的信号设备,指挥列车运行。调度集中(监督)系统按应用场所分为区段调度集中(监督)、枢纽调度集中(监督)、分界口调度集中(监督)系统等。

行车调度指挥自动化系统 利用在线计算机和有关技术设备,自动收集信号设备状态和列车运行的信息,按规定的算法和程序进行处理,实时地发送出指挥列车运行的有关命令,安排列车进路和调整列车运行,同时将处理的结果予以记录和显示,这种集中控制和监视系统称为铁路行车调度指挥自动化系统。

列车运行控制系统 列车运行控制系统一般是由地面—车上信息传输设备和车上设备构成(见图3)。机车设备把从地面获得的允许速度信息,与列车实时采集的实际车速相比较,在超出规定允许的车速时,控制系统根据列车的制动能力、实际载重和目标速度等多种因素,求得最佳降速方案,或在需要时进行制动。地面—车上信息传输设备可分为点式和连续式两大类。点式信息传输设备有感应器、应答器等。连续式传输设备有轨道电路、程序轨道电缆、漏泄电缆等。按控制列车运行的自动化程度不同,它可包括列车自动停车、机车信号、列车运行速度自动监督、列车运行速度自动控制等。

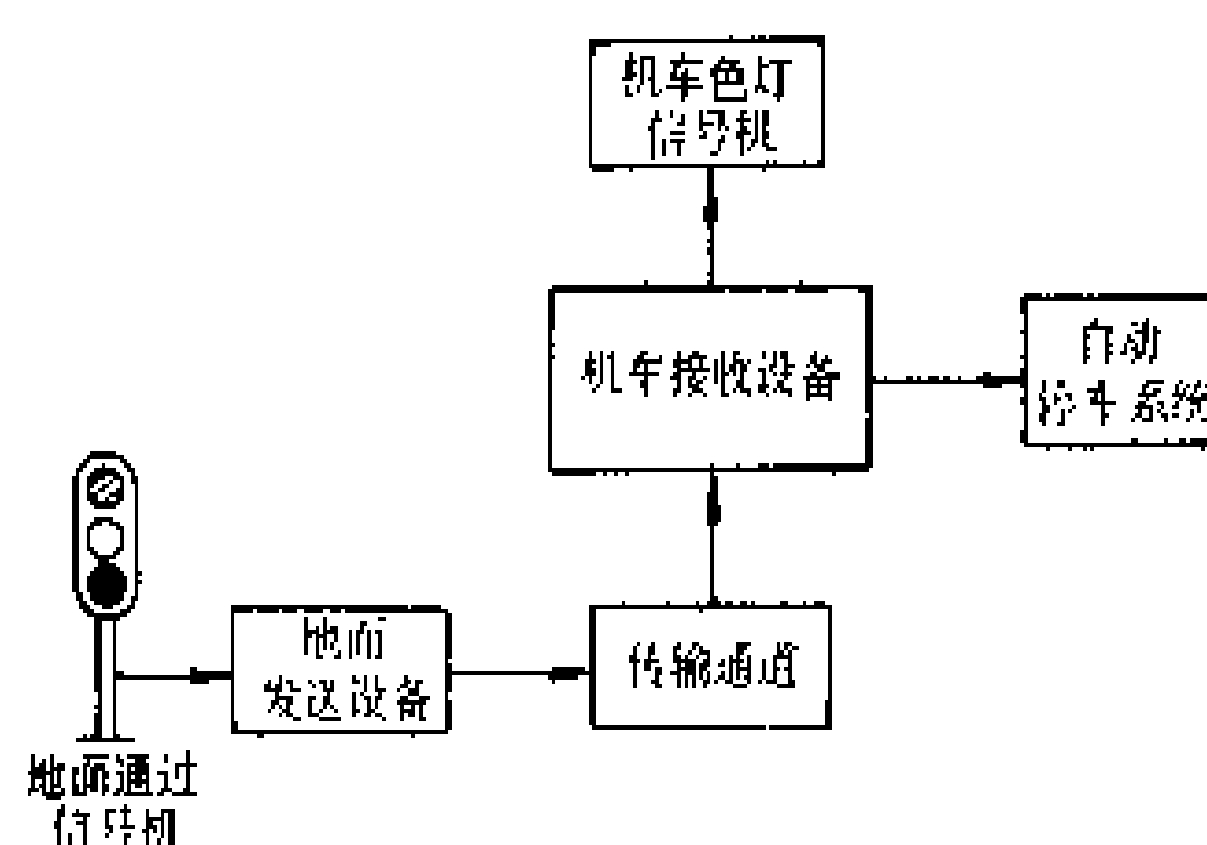


图3 列车运行控制系统构成示意图

列车自动停车是在机车与地面间装设的一种相互发生联系的设备,在司机未能确认并执行地面信号机停车信号或减速信号的命令时,能够强迫列车自动停车,以防止列车冒进信号。

机车信号是一种装在机车或动车司机室内的色灯信号,用以复示前方地面信号机的显示,或指示列车运行速度和前方线路的运行条件。在高速线,机车信号作为主体信号向司机显示列车运行条件。

列车运行速度自动监督具有验查和监督功能,当列车实际速度超过机车从地面收到的允许速度时,则实施紧急制动,实现超速防护。

列车运行速度自动控制是将列车实际速度与机车从地面接收到的允许速度相比较,若超过允许速度,

则能自动减速,以确保行车安全。列车运行速度自动控制一般不能自动加速。具有根据信号显示自动加速功能的系统称为列车自动操纵或列车自动驾驶,它是一套完整的闭环自动控制系统,还附有列车自动开门等辅助性操作。列车自动驾驶仅在地下铁道某些线路上采用。

20 世纪 80 年代以来,列车运行控制系统开始采用微型计算机和微电子器件,为了提高系统的安全性和可靠性,在硬件上往往采取多种冗余技术,在软件上采取多种诊断程序等措施。

驼峰调车控制系统 在驼峰调车场上,控制货车溜放进路和溜放速度,实现列车的自动分点解体和编组的自动控制系统。驼峰调车控制系统属于一级负荷,应由两路电源供电,并设专用的驼峰变电所。在每路电源上都设两台变压器,其中一台供信号用电,另一台供空压机站、峰顶照明等用电。该系统主要由驼峰货车溜放速度自动控制、驼峰货车溜放进路自动控制、驼峰推送机车速度自动控制和驼峰信息处理等组成。

驼峰货车溜放速度自动控制 用车辆溜放调速设备来调整车组的溜放速度,使前后相邻车组间保持必要的间隔,并在溜入编组线后与停在编组线上的车组安全连挂。货车溜放速度控制有人工控制和自动控制两种方式。自动控制是由计算机根据现场测重、测阻、测长和测速等测量设备测得的每个车组的重量、阻力、所要溜入股道的空闲长度以及实际溜行速度等数据,使之在驶至停车点与停留车连挂时,不超过允许速度。调速设备有三种控制方式,①点式(车辆减速器);②连续式(减速顶、减速顶加绳索牵引小车);③点一连式。编组线前部采用点式控制,后部采用连续式控制。

驼峰货车溜放进路自动控制 根据解体作业计划,按照各溜放车组的去向股道,自动排列溜放进路。

驼峰推送机车速度自动控制 根据车组长度及其去向股道,利用地面驼峰信号或机车信号,指示推峰机车推送速度。推峰机车亦可在峰顶使用无线电遥控。

驼峰信息处理 包括解体、编组计划的自动编制、现车管理、货车信息追踪、货车报表统计等。

道口防护设备 在铁路与公路平面交叉处,为防止铁路车辆与道路车辆及行人等发生冲撞所装的设备。根据防护的方式及作用不同,道口防护设备可分为道口自动通知、道口自动信号和道口自动栏木等三类。

在自动闭塞区段,道口防护设备电源取自 10kV 自动闭塞线路。在非自动闭塞区段,如道口附近有可靠

的地方配电线路,道口防护设备的电源应取自地方配电线路;若无可靠交流电,可采用太阳能电池供电。

(陈佳玲)

tingdian

停电 (power interruption) 供电发生中断的现象。供电设施遇有下列事件,都有可能引发停电。①超过电力设施设计标准的地震、大风、洪水、覆冰、大雾以及设计未考虑的其他自然灾害;②外力破坏,如车船撞断电杆电线,开山放炮炸断电线、炸坏绝缘子,小动物(如鼠、猫、蛇、鸟)造成的短路;③设备质量问题,如变压器、断路器等设计不当或制造不良等造成绝缘性能低劣引起的设备短路;④运行人员的误操作、误整定、误接线等引起的短路或保护动作;⑤用户内部发生的事故,因继电保护失灵造成的断路器越级动作引起的电力系统对其他用户的停电;⑥供电设备正常检修、试验以及新用户接入电网等工作必须的断电;⑦窃电或违章用电而施行的处罚性的断电。

停电对用户正常活动或利益会产生一定的影响,其影响的程度取决于用户用电性质以及停电发生的频度、波及的范围、持续时间。事先预安排的停电,一般对用户不会引起直接的经济损失。突然性停电,特别是自然灾害或电气设备内部短路引起的停电,对社会和用户都会产生较大的影响。

停电按性质可分为事故停电、计划停电、临时停电和处罚停电。

事故停电 突发事件引起的断电。发电厂和供电网都有可能遇到突发事件。供电网遇到的突发事件有超过电力设施设计标准的大风、洪水、地震等自然灾害,供电设备质量不良造成的内部电气短路,外力破坏和用户内部事故扩大至电力系统等。事故停电有的是由自动保护装置动作来执行的,有的是按事先预定的拉闸限电序位由运行人员执行的。事故停电是突发事件发生后必须立即作出的断电,其目的是保障电力系统的安全。因此,事故停电具有突发性,不可预见,对用户和社会产生的影响较大。

计划停电 预先安排的断电。通常分为计划检修停电和电力供应不足时的计划停电两种。计划检修停电又称为工作停电,是为了保证供电安全,恢复供电设备寿命,延长服役期限,提高供电设备抵御突发事件的能力,所必须进行的设备检修、试验作业而进行的停电。采用带电作业可以减少检修停电的次数和时间。但绝大部分检修与试验项目仍需停电进行。检修停电是按预先安排的计划进行的,一般在停电作业前,都可通过一定的手段通知用户。因此,计划检



修停电只要用户配合，不会引起用户的直接经济损失。

电力供应不足时的计划停电，通常是依据政府发布行政命令，对某些用户的用电进行的控制。这种停电是在事先有预告的情况下进行的，不会对用户造成直接的经济损失。

临时停电 为处理故障而随机安排的停电。供电设备在运行过程中，有时会出现故障或遇到影响安全运行的其他事件，若不及时停电抢修，可能会酿成事故，造成设备的损坏或更长时间的停电。因此，临时停电是为预防事故而不得已采取的措施。临时停电是非计划性的停电，具有随机性，对用户的用电有一定影响。为减少因临时停电造成用户的损失，在停电前应尽可能通知有关的重要用户，宜采用带电抢修的项目，尽可能采用带电作业。

处罚停电 对有窃电、违章用电、长期不交电费或超指标用电等用电行为，依法进行的断电。处罚停电是对用电行为不规范者所作出的行政处罚性断电，其目的是为保护国家的利益、维护正常的供用电秩序、保障供用电的安全。处罚停电要有书面通知送达用户。

大面积停电事例 大面积停电对社会和经济造成的影响是很大的。几次大停电事故简述如下：

(1) 1981 年 12 月 12 日，英国南威尔士及英格兰西部遇到大风雪（风速达 160 km/h），造成该地区 400 kV 输电线发生故障，与系统解列，欣克利角 A 核电站全厂停运，欣克利角 B 核电站两个反应堆停运，潘勃洛克火电厂与系统解列。这次事故使整个康沃尔笛伏苏梅塞尔地区停电数小时，几千用户至少停电 24h。

(2) 加拿大魁北克省电力系统，在 1982 年 12 月 14 日下午 1 时 22 分（当地时间），发生了 735kV 刘易斯变电所一台超高压变流器爆炸起火，引起一系列连续性事故，使得魁北克省广大地区停电，有 600 万人在温度为 0℃ 的环境中生活，市内办公大楼提前关闭，蒙特利尔市内交通混乱。这次事故还波及到由魁北克省供电的美国东北部地区。

(3) 1983 年 8 月 18 日，美国德克萨斯州遭受风速达 185km/h 飓风袭击，使该州电力系统中的 13000 km 输配电线路停运，960 km 配电线路被刮断，3500 基电杆被刮倒（包括 20 基高压输电塔），造成休斯敦电灯及电力公司供电的 75% 用户断电，一个星期后，仍有 10 万用户停电。这是第二次世界大战以来，电力系统所遭受到的最严重的损失。

(4) 1990 年 1 月至 2 月间，一场浓雾自中国黄河中游向华北、东北地区袭击，途经河南、河北、北京、

天津、辽宁等省市，造成上述地区电力系统发生大面积污闪停电事故，6 条 500 kV 线路，82 条 220 kV 线路跳闸，先后有 25 座 220、110 kV 变电所停运，总共少送电能 3000 万 kW·h。

（徐纪法）

tongbu diandongji

同步电动机（synchronous motor） 负载

时的转速与所接电源频率之比为恒定值的交流电动

机。电动机运行时，转速恒等于同步转速 $n_1 = \frac{60f}{p}$ ，同

步电动机的词意就由此而来。

同步电动机在不要求调速的大功率生产机械中用得很多，例如大型空气压缩机、粉碎机、鼓风机、电动发电机组等，它们的功率达数千瓦甚至数万千瓦。大功率同步电动机与同容量的异步电动机相比，有明显的优点：功率因数高，可以通过调节励磁电流使它在

超前功率因数下运行，有利于改善电网的功率因数；大功率低转速的同步电动机体积较小。

同步电动机按转子结构特点可分为凸极式（图 1）和隐极式（图 2）两种，一般都做成凸极式。如按磁极固定位置分，有磁极固定在定子上的旋转电枢式（转子上嵌套三相交流绕组，经过转轴上的集电环及电刷与外电路接通）和磁极固定在转子上的旋转磁场式，一般多做成旋转磁场式。同步电动机的磁极一般由直流电流励磁；也有用永磁体励磁的，称为永磁同步电动机。

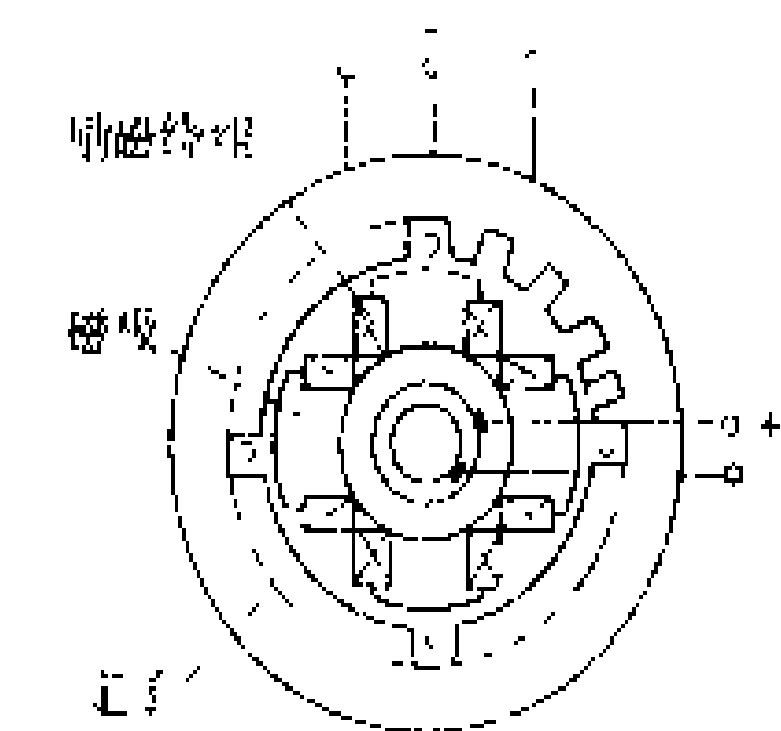


图 1 凸极式同步电动机的结构示意图

不带机械负载，只向电力系统提供无功功率，运行于电动机状态的同步电机称为同步调相机或同步补偿机，用于改善电网功率因数，维持电网电压水平。

基本结构 同步电动机由定子和转子两大部分组成，它们之间是气隙。在旋转磁场式同步电动机中，定子部分主要有机座、定子铁芯和电枢绕组（即定子绕组）。机座的作用是固定定子铁芯，因此必须有足够的刚度和强度。定子铁芯由 0.5 mm 厚的硅钢片叠压而

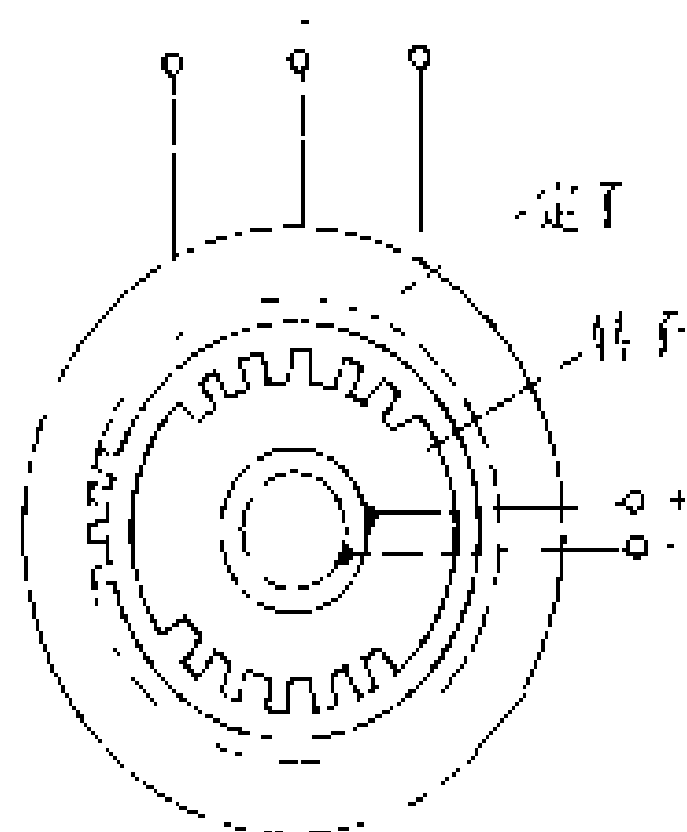


图 2 隐极式同步电动机的结构示意图

成,内圆开有槽,槽内放置线圈,这些线圈按一定规律联成电枢绕组。转子如做成凸极式,气隙在两相邻磁极处比磁极中心处大得多。磁极铁芯由钢板冲成冲片后,叠压而成。磁极上套有励磁线圈,各励磁线圈串联起来,构成励磁绕组,在励磁绕组中通入直流电流,产生N、S交替排列的磁极。转子如做成隐极式,则转子是一个圆柱体,气隙沿圆周是均匀的,在转子铁芯外表面圆周上开有许多槽,励磁绕组分布地嵌放在这些槽内。励磁绕组的引出线分别与两个集电环连接,通过电刷与直流电源相接。

旋转电枢式同步电动机的定子是磁极,转子是电枢。

同步调相机的结构与同步电动机基本相同,只是由于不带机械负载,转轴可以细些。如果它具有自启动能力,可以不需要轴伸,便于采用氢冷却密封。

工作原理 同步电动机的定子三相对称绕组接到三相对称交流电源上时,就会产生三相合成基波旋转磁通势,简称电枢磁通势,用空间矢量 \vec{F}_a 表示。 \vec{F}_a 的转速为同步转速 n_1 ,设转向为逆时针方向。当励磁绕组通入直流励磁电流 I_f 时,产生基波励磁磁通势,用空间矢量 \vec{F}_f 表示。这样,作用在主磁路上的磁通势共有两个:一是电枢磁通势 \vec{F}_a ,另一是励磁磁通势 \vec{F}_f 。二者相对于转子是静止的,相对于定子是以同步转速 n_1 逆时针方向旋转,即同步旋转。 \vec{F}_a 和 \vec{F}_f 的空间相位不一定相同。 \vec{F}_a 和 \vec{F}_f 的合成磁通势为 \vec{F}_R ,即

$$\vec{F}_R = \vec{F}_a + \vec{F}_f \quad (1)$$

如果把 \vec{F}_R 看成等效磁极,把转子看成电磁铁,根据磁的异性相吸、同性相斥的基本物理特性,旋转的等效磁极N和S分别与电磁铁的S和N极相吸,如图3所示,于是转子就以同步转速 n_1

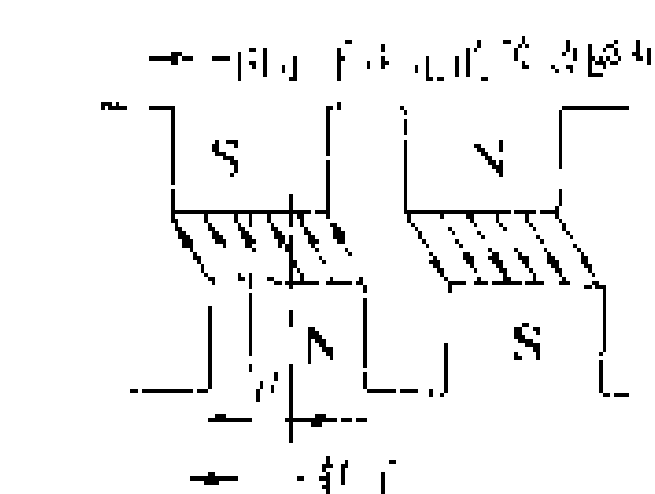


图3 等效磁极与转子的相对位置

在忽略定子绕组漏阻抗的情况下,转子磁极落后等效磁极 θ 空间电角度, θ 叫功率角。 θ 角也是励磁磁通势 \vec{F}_f 落后合成磁通势 \vec{F}_R 的空间电角度。

性能指标 有功角特性和V形曲线。

功角特性 凸极同步电动机在忽略定子电阻时,电磁功率 P_M 和电磁转矩 M_M 与功率角 θ 的关系为

$$P_M = m \left[\frac{EU}{X_d} \sin \theta + \frac{U^2 (X_d - X_q)}{2X_d X_q} \sin 2\theta \right] \quad (2)$$

$$M_M = \frac{P_M}{\Omega_1} = \frac{m}{\Omega_1} \left[\frac{EU}{X_d} \sin \theta + \frac{U^2 (X_d - X_q)}{2X_d X_q} \sin 2\theta \right] \quad (3)$$

式中 m 为相数; E 为励磁电动势,由励磁磁通势产生

的气隙磁密切割定子绕组产生的每相电动势有效值, V ; U 为定子相电压, V ; Ω_1 为同步机械角速度, $\Omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60}$, rad/s; X_d 、 X_q 分别为直轴同步电抗、交轴同步电抗, Ω ; θ 为功率角,忽略定子电阻时,也是 \vec{E} 与 \vec{U} 之间的时间电角度。

式(2)和式(3)中等号右边的第一项与励磁电动势 E 成正比,即与励磁电流的大小有关。式中的第二项,与励磁电流大小无关,它是由凸极式转子上的直轴和交轴磁阻不等(即 $X_d \neq X_q$)而产生的,这项功率(转矩)叫磁阻(或反应)电磁功率(转矩),利用磁阻转矩可制成磁阻电动机,亦称反应式同步电动机。

对于隐极同步电动机,由于气隙均匀,参数 $X_d = X_q$,所以式(2)和式(3)中的第二项为零。

如果式(2)和式(3)中等号右边除 θ 外,其他各项都不变,则 P_M 和 M_M 的大小都与 θ 成函数关系。把 $P_M = f(\theta)$ 和 $M_M = f(\theta)$ 的关系分别叫做同步电动机的功角特性和矩

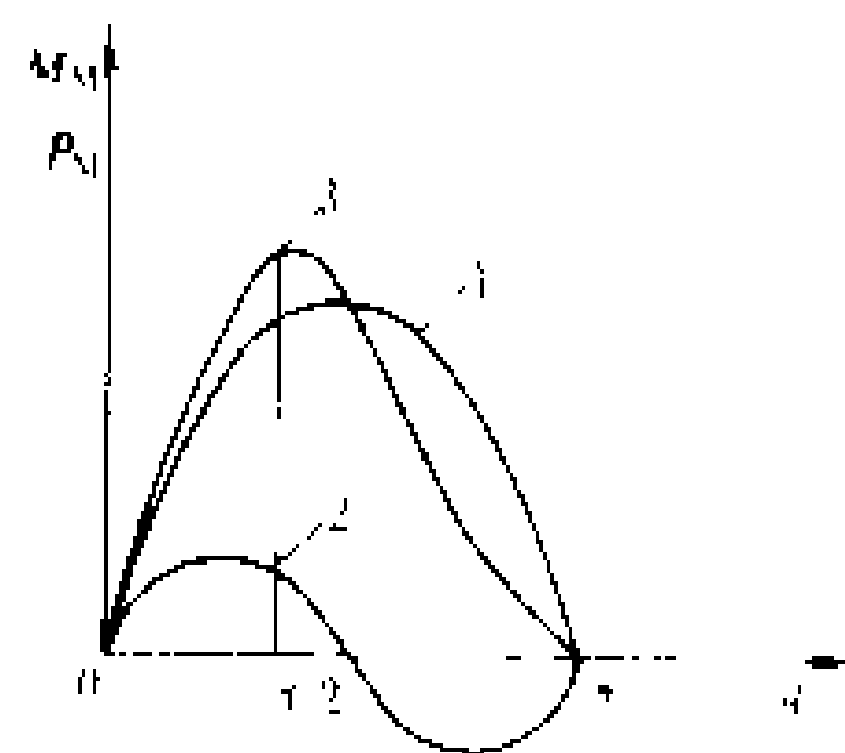


图4 同步电动机的功角特性和矩角特性

角特性。画成曲线如图4所示。该图中,曲线1、2分别为式(2)、(3)中第一、二项与 θ 的关系,曲线3是合成总的电磁功率或电磁转矩与 θ 的关系。对于隐极式同步电动机只有曲线

1。由图4可知,总的最大电磁功率 P_{Mmax} 和最大电磁转矩 M_{Mmax} 对应的 θ_{max} 角,在凸极机中小于 90° ,在隐极机中等于 90° 。当负载增加时,等效磁极和电磁铁轴线间的空间电角度 θ 拉开增大,当 θ 达到 θ_{max} 以后,如负载再增大,会使两组磁极轴线进一步拉开,但是当 $\theta > \theta_{max}$ 时, P_M 和 M_M 不再增大,这时会出现 $M_M < M_L$ (负载转矩)的现象,使电动机减速,以致 θ 更增大,减速愈甚,结果导致转子不能与定子等效旋转磁极同步运行,电动机处于失步状态,最后被迫停转。最大电磁转矩 M_{Mmax} 决定了同步电动机的静态稳定极限,它与额定转矩 M_N 之比,叫过载倍数,用 K_M 表示

$$K_M = \frac{M_{Mmax}}{M_N}$$

负载机械的种类不同,对 K_M 的要求也不同。

V形曲线 如果保持同步电动机的机械负载不变,当电网电压和频率恒定时,电枢电流 I 与励磁电流 I_f 之间的关系曲线,即 $I = f(I_f)$ 关系曲线,由于形状像英文字母“V”,故称V形曲线,如图5所示。对应一定功率,有一条V形曲线,图5中各条V形曲线对

应的功率为 $P_M'' > P_M' > P_M'$ 。对每条 V 形曲线, 电枢电流 I 有一最低点, 这时定子仅从电网吸收有功功率, $\cos\varphi=1$, 此点所对应的励磁电流称为正常励磁电流。把这些点连起来就称为 $\cos\varphi=1$ 的线。此线微向右倾斜, 说明输出为纯有功功率时, 输出功率增加的同时, 必须相应地增加一些励磁电流。 $\cos\varphi=1$ 线的左边是欠励区, 励磁电流小于正常励磁电流, 电动机自电网吸收滞后于端电压的电流, $\cos\varphi$ 是滞后性的; 右边是过励区, 励磁电流大于正常励磁电流, 电动机自电网吸收超前电流, $\cos\varphi$ 是超前性的。过分减小励磁电流 I_f , 电动机就会失去同步, 进入图 5 中虚线所示的不稳定区。如增大励磁电流 I_f , 使电动机处于过励状态, 则可从电网吸取容性无功功率, 起到改善电网功率因数的作用, 这是同步电动机的突出优点之一。

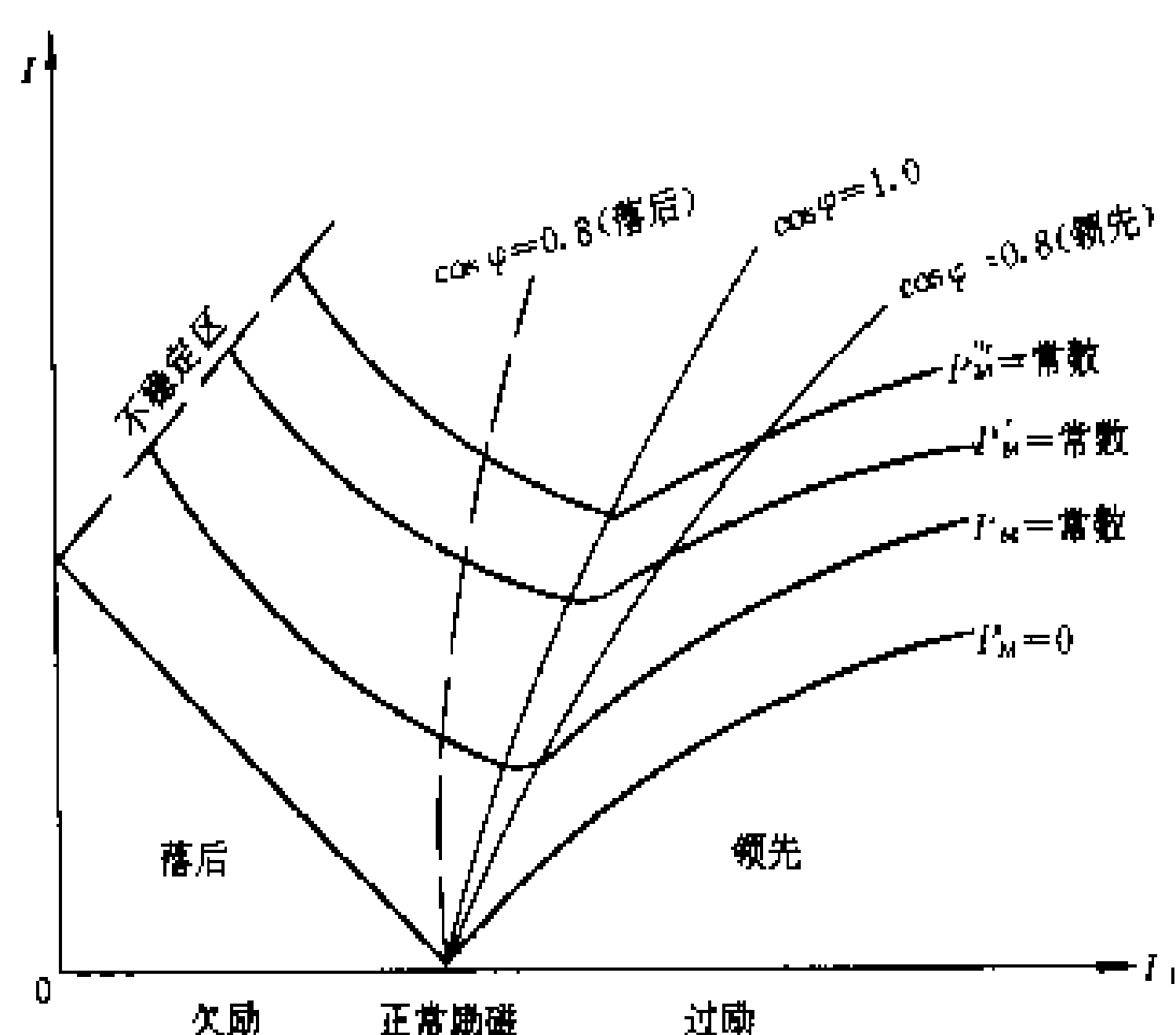


图 5 V 形曲线

$P_M=0$ 的 V 形曲线可看作同步调相机的 V 形曲线。实际上 P_M 只接近于零, 而不能为零, 因为空载运行的电动机(即调相机)仍须从电网输入少量的有功功率以补偿其损耗。

起动 同步电动机仅在同步运行时才能产生恒定的电磁转矩, 在其他转速时, 电磁转矩正、负交变, 平均转矩为零, 所以同步电动机本身没有起动转矩, 不能自起动。要使同步电动机起动, 必须采用辅助动力机起动或异步起动。

辅助动力机起动 用一台辅助动力机(可以是直流电动机, 或与同步电动机同极数的感应电动机, 也可以是内燃机或其他的动力机), 把同步电动机拖到接近同步转速后, 再投入电网, 将电动机牵入同步。这种方法需要的设备较多, 操作也较复杂。

异步起动 同步电动机最基本的起动方法。在转子磁极极靴上装有类似笼型转子绕组那样的短路绕组, 叫起动绕组。为了得到较大的起动转矩, 起动绕组材料常用电阻率高的黄铜或铝青铜。起动时, 将定子

绕组接上电源, 便能产生异步转矩使同步电动机转起来。但转子转速达不到同步转速, 而是 95%~97% 同步转速, 称之为亚同步速。这时立即给它的励磁绕组里通入励磁电流, 建立主极磁场, 依靠与定子旋转磁场之间的相互吸引将电动机牵入同步。如果条件不合适, 还不一定能够牵入同步。一般讲, 在牵入同步前的转差率越小, 同步电动机的转动惯量越小, 负载越轻, 牵入同步就越容易。

异步起动时应注意: ①励磁绕组不能开路, 否则: 在大滑差时会在其中感应很高的电动势, 将励磁绕组绝缘击穿或引起人身事故。②励磁绕组不能直接短路, 否则会在励磁绕组内产生过大的电流, 这个电流与气隙磁场作用, 产生单轴转矩, 使同步电动机在 $\frac{n_1}{2}$ 附近

卡住而达不到同步转速 n_1 。为减小单轴转矩的作用, 可在励磁绕组回路中串接一个限流电阻, 其阻值约为励磁绕组本身电阻的 5~10 倍。待转速上升后, 再切除限流电阻并加入直流励磁电流。为了确保所加励磁电流极性无误, 一般都有自动检查和控制装置。③为避免在起动时定子绕组中产生较大的起动电流, 通常还要采用降压起动。

参考书目

李发海等, 电机学(第二版), 北京: 科学出版社, 1991

(金啟玖)

tongbu diandongji licl

同步电动机励磁 (synchronous motor excitation)

同步电动机的励磁绕组必须单独由电源设备供给直流电流, 通常称为供给励磁。这种电源设备称为励磁系统。励磁系统包括励磁机、调节和控制单元、励磁的消磁和灭磁设备以及保护装置等。对同步电动机励磁系统的要求有:

(1) 对带重载起动及有自动再同步要求的同步电动机, 在起动过程中转速达亚同步转速以前 ($s > 4\% \sim 5\%$), 励磁绕组应经一电阻器短接(电阻器的电阻值为励磁绕组电阻的 7~10 倍), 当转速达亚同步转速后, 将电阻器切除并投入励磁;

(2) 为改善电网功率因数, 大容量同步电动机的励磁系统应按无功电流恒定或按功率因数恒定进行励磁调节;

(3) 为提高电动机的稳定性, 当电网电压降低或过负载时应实行强行励磁;

(4) 当同步电动机内部发生短路故障时, 应快速灭磁, 以避免事故扩大;

(5) 在停机时, 应进行灭磁;

(6) 励磁系统应能长期可靠地运行, 维护要方便, 且力求简单、经济。

同步电动机励磁可分为两类: 一类是用直流发电机供给励磁的直流励磁机励磁; 另一类是用硅整流装置将交流变成直流后供给励磁的半导体励磁。

随着半导体技术的发展, 同步电动机采用直流励磁机励磁的已经不多了, 通常采用半导体励磁, 对有些要求防爆的用户来说, 采用旋转半导体励磁则是很安全的。

直流励磁机励磁 直流励磁机大多采用并励直流发电机。有时为了提高励磁系统的反应速度, 并使励磁机在较低电压下也能稳定运行, 也有采用他励直流发电机作为直流励磁机, 此时励磁机的励磁由另一台与其同轴连接的副励磁机供给, 副励磁机采用并励直流发电机。

直流励磁机励磁是一种传统的励磁方式。由于直流发电机电刷和换向器的存在, 使容量、转速受到限制, 并且维护也不方便。因此, 这种励磁系统用于转速较低的凸极同步电动机的励磁。

半导体励磁 有静止半导体励磁和旋转半导体励磁两种。

静止半导体励磁 用静止的晶闸管整流器将与同步电动机定子回路相接的同一交流电网的交流电流整流后, 通过集电环装置接到同步电动机的励磁绕组, 以供给其励磁。图 1 为静止半导体励磁系统原理图。这种励磁系统有以下特点:

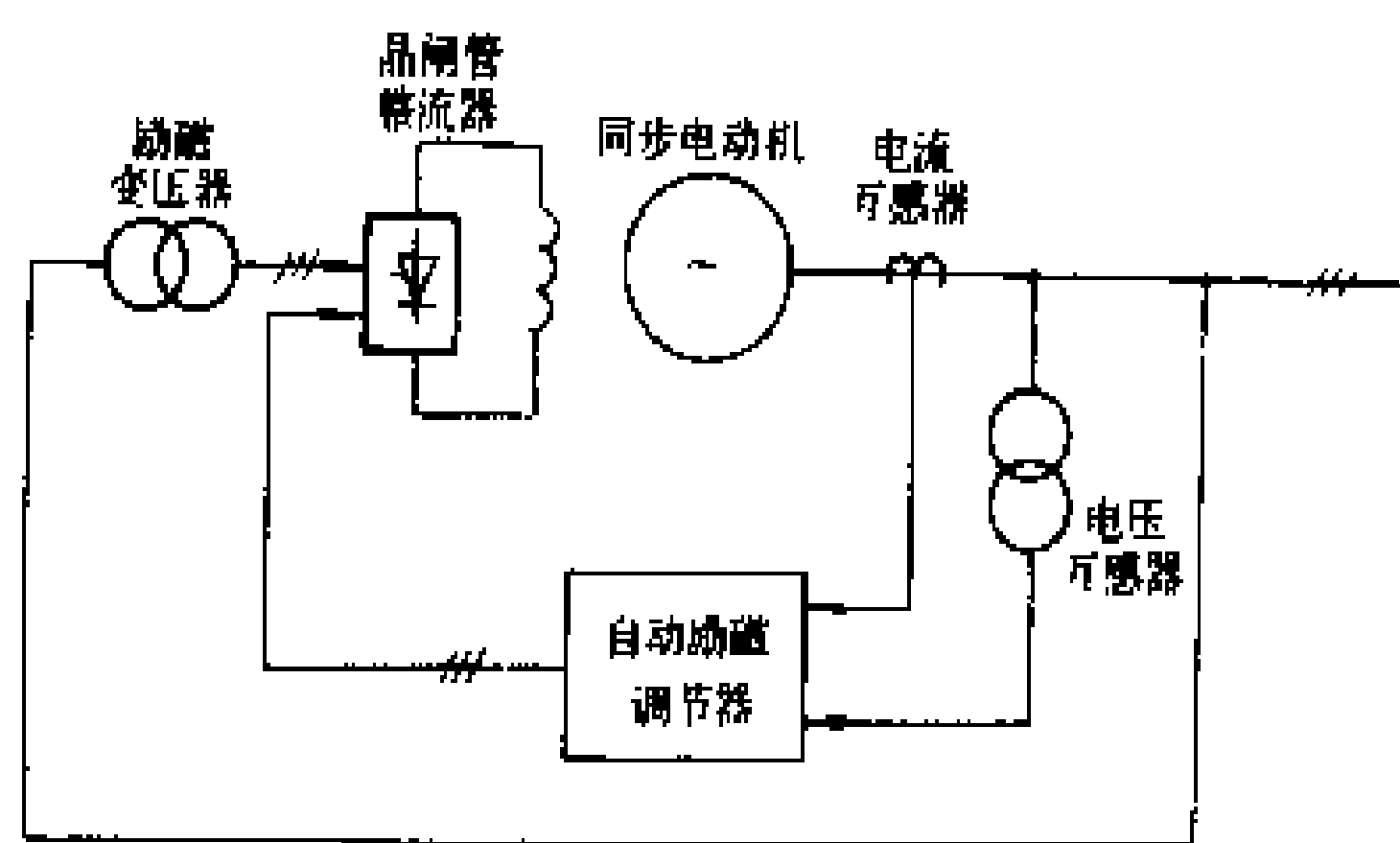


图 1 同步电动机静止半导体励磁系统原理图

(1) 全压起动的同步电动机当转速达亚同步转速时, 实现顺极性投入励磁;

(2) 采用降压起动的同步电动机当转速达亚同步转速的 90% 左右时, 自动切除起动电抗器, 待电动机加速至亚同步转速时, 自动投入励磁;

(3) 当交流电网波动时, 能保持同步电动机的励磁电流基本恒定, 当电网电压下降至 80%~85% 额定值时实现强行励磁, 顶值电压倍数为 1.2~1.8 倍, 允许强励时间不超过 10s;

(4) 同步电动机起动或停机时, 可限制转子励磁

绕组两端的过电压;

(5) 可进行手动励磁电流调节, 其调节范围为额定值的 1.25%~10%;

(6) 同步电动机正常停机或事故停机时, 可顺利灭磁;

(7) 带冲击负载的同步电动机, 当负载突变时能自动保持电动机无功电流恒定。

静止半导体励磁系统由于没有旋转的直流电机, 故运行可靠, 维护方便, 励磁容量和转速都得以提高。随着半导体技术的发展, 这种励磁系统将得到日益广泛的应用。

旋转半导体励磁 图 2 为旋转半导体励磁系统原理图。系统中交流励磁机是与同步电动机同轴连接的旋转电枢式三相同步发电机。同步发电机的电枢电流经装在同一轴上的硅整流器整流后, 直接送到同步电动机的励磁绕组以供给其励磁。交流励磁机的励磁由可接到同步电动机定子回路同一交流电网的交流电流经晶闸管整流器整流后供给。由于交流励磁机的交流输出、硅整流装置以及同步电动机的励磁绕组均在同一旋转体上, 因此不需要电刷和集电环, 所以这种励磁系统又称为无刷励磁系统。

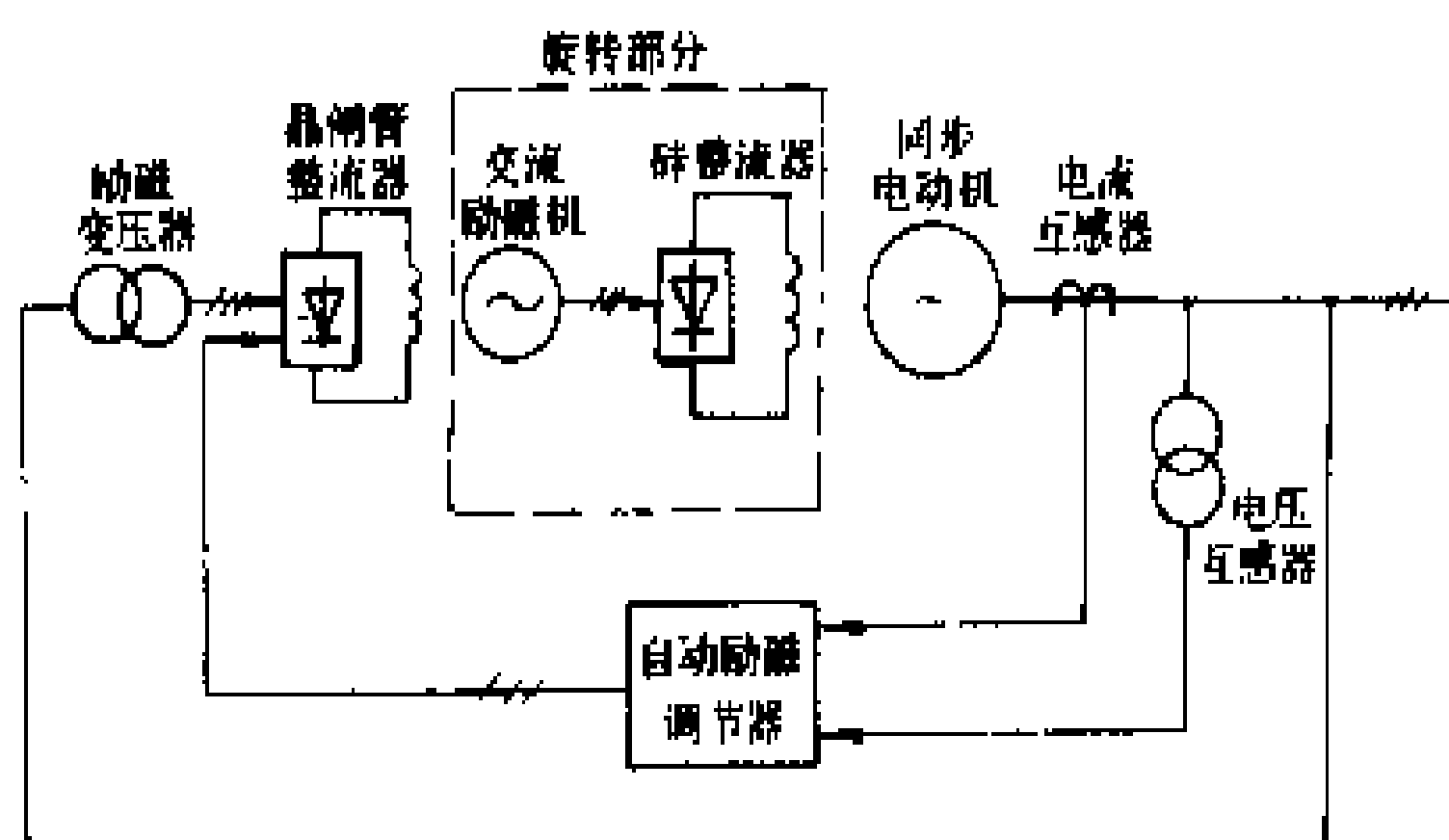


图 2 同步电动机旋转半导体励磁系统原理图

旋转半导体励磁的优点是取消了电刷与集电环的滑动接触, 从而提高了运行可靠性, 维护简便。这种励磁由于不会产生火花, 可用在易爆易燃场所, 又由于没有电刷与集电环接触时产生的炭粉和铜粉, 所以可延长电机绕组绝缘的寿命; 缺点是转子回路电压和电流量测困难, 整流器件和相应的保护器件都处于高速旋转状态, 故要求这些器件能承受相当高的离心力。

参考书目

艾维超. 电机学. 北京: 机械工业出版社, 1991

(金啟玖)

tongbu diandongji zhuntongbu qidong

同步电动机准同步起动 (accurate-synchronized starting of synchronous motor)

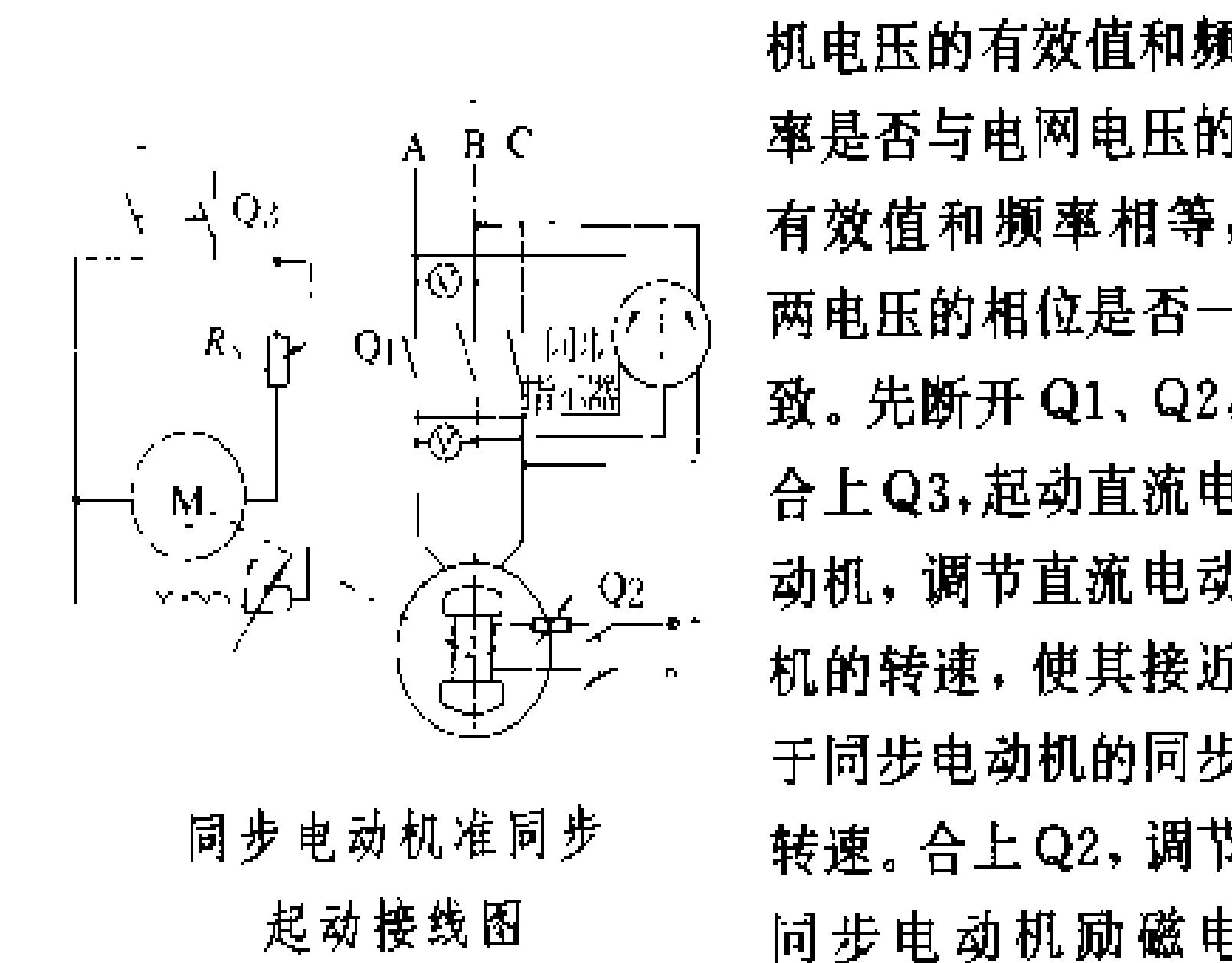
对同步电动机进行准同步操作来实现起动的方法。起动

时用直流电动机拖动同步电动机作发电机运行，按同步电动机并网条件投入电网，并切断直流电动机电源，同步电动机由发电机运行转变为电动机运行。这种方法能显著减小起动电流对电网的影响，用这种方法起动的同步电动机，可以不要起动绕组，但要求有一台与同步电动机同轴连接的小容量直流电动机，而且一般只能空载起动。

把同步电动机作发电机运行投入电网必须满足下列条件：

- (1) 发电机电压（有效值）等于电网电压（有效值）；
- (2) 投入时发电机的电压相位与电网电压相位一致；
- (3) 发电机频率等于电网频率；
- (4) 发电机的相序与电网相序一致。

在用相序表校验发电机相序与电网相序一致的条件下，按图接线。图中的同步指示器是用来判断发电机电压的有效值和频率是否与电网电压的有效值和频率相等，两电压的相位是否一致。先断开 Q1、Q2，合上 Q3，起动直流电动机，调节直流电动机的转速，使其接近于同步电动机的同步转速。合上 Q2，调节同步电动机励磁电流，使其电压有效值等于电网电压有效值，仔细调节直流电动机转速，待同步指示器指示出发电机频率与电网频率接近相等、电压相位一致时，合上开关 Q1，然后断开直流电动机电源开关 Q3，并将同步指示器退出工作，同步电动机作为电动机运行，起动完毕。



这种方法常用于旋转变流机组中同步电动机的起动。起动时，变流机组中的直流发电机作为直流电动机运行，拖动同步电动机按上述方法并网，然后断开直流电动机的电源，成为旋转变流机组运行。为了调节直流电动机的转速，需要一套容量较小的可调直流电源。

除了准同步起动外，也可选用与同步电动机有相同极数的感应电动机（容量约为同步电动机的 5%~15%）作为驱动电机，当感应电动机拖动同步电动机接近同步转速时，用自整步法将其投入电网，再切断感应电动机电源，起动完毕。这种方法较准同步起动投资少，操作简便，但投入电网时，有电流冲击和转矩冲击。

（叶 东）

tongshilu

同时率（simultaneity rate） 综合用电最大负荷与各组成单位用电最大负荷之和的比率。同时率说明上述两者之间差异的程度，常用来预计电力系统用电最大负荷。计算公式为

$$K_0 = (P_{max} / \Sigma P_{max}) \times 100\%$$

式中 K_0 为同时率； P_{max} 为综合用电最大负荷，kW； ΣP_{max} 为各组成单位的最大负荷之和，kW。

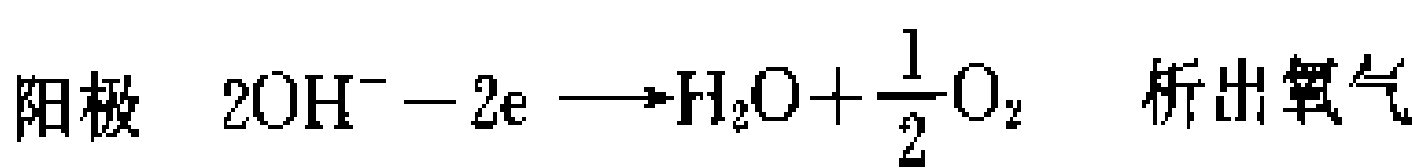
由于各组成单位用电时间特点的差异，其最大负荷出现的时间不同。从一个共同电气连接点上取用的综合用电负荷一般小于各组成单位不同时间出现的最大负荷之和，因此同时率一般小于 1。

（郝士茹）

tongdianjie

铜电解（copper electrolysis） 以硫酸铜水溶液为电解液，进行电解提取或精炼铜的冶金过程。以电解方法从铜的浸出液中提取铜，称为铜的电解提取。以电解方法提纯火法精炼产出的阳极铜，称为铜的电解精炼。铜的电解提取主要用于从贫矿石和废矿堆浸溶液中电积铜。火法精炼的铜，可达到很高的纯度，若不含贵金属，即可作为商品出售。但多数火精铜中含有贵金属，所以需经电解精炼，以便在提纯的同时，将其中金、银等贵金属富集于阳极泥中以进一步提取。

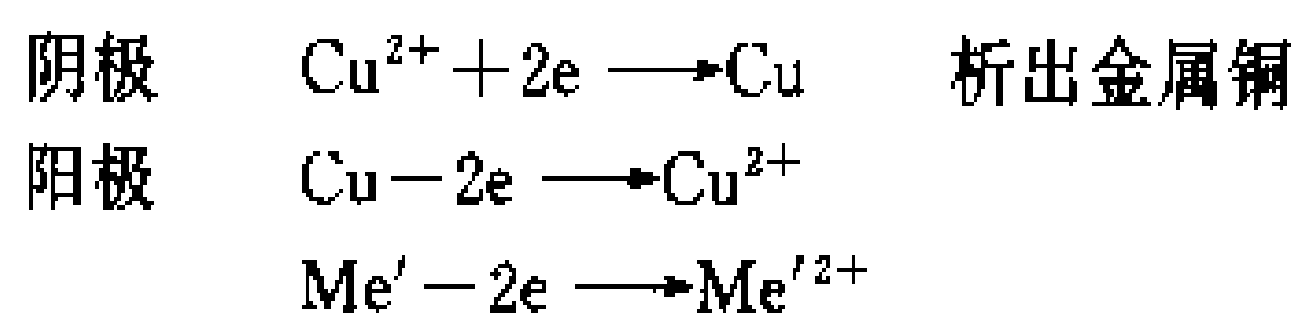
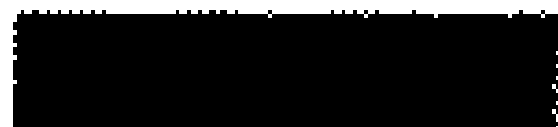
铜的电解提取 又称电积，属不溶阳极电解。用溶剂将铜矿石中的铜溶解作为电解液，以铅板为阳极，以铜始极片为阴极进行的电解，称为铜的电解提取。铜电解提取时，在阴、阳极有如下电化学反应



电解过程中的电解槽槽电压为 1.8~2.5 V，电流密度为 180~200 A/m²。由于槽电压高，电流效率又较低，仅 77%~92%，直流电耗较高，为 1700~2250 kW·h/t。电解铜纯度可达 99.95%~99.97%。

铜的电解精炼 火法精炼产出的铜，含铜 99.2%~99.7%，常含有金、银等贵金属和少量杂质，通常须进行电解精炼。铜的电解精炼属可溶阳极电解，分为电解和电解液净化两个工序。电解是提纯过程。电解液净化是除去电解液中过量的铜离子、生产硫酸盐、回收酸、除去过量杂质的过程。

电解 传统的铜的电解精炼是将火法精炼产出的铜铸成阳极，以电解产出的铜始极片为阴极，以硫酸铜和硫酸的水溶液为电解液，在电解槽中通直流电进行电解。在阴、阳极上有如下的电化学反应：



Me'表示 Fe、Ni、Pb、As、Sb 等负电性金属杂质。在电解过程中，电解槽的槽电压为 0.2~0.25 V，电流密度 200~250 A/m²，电流效率为 95%~98%，电解铜消耗直流电能 230~260 kW·h/t。电解铜纯度可达 99.5%~99.97%。

在电解过程中，电解液必须循环，同时还要加热，维持其温度在 55~60℃，以加速 Cu²⁺ 的扩散，消除浓差极化（见电极极化）。还要在电解液中加入少量添加剂，以得到致密、平滑的阴极铜。

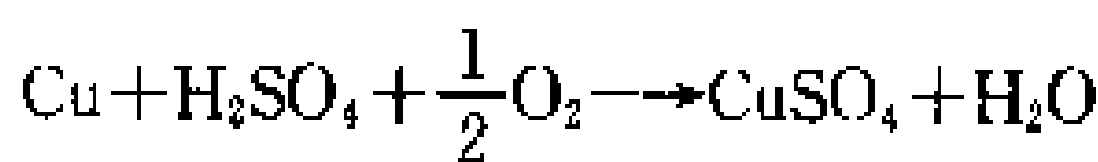
残留在阳极表面和沉积在电解槽底部的不溶泥状物称为阳极泥，是回收金、银、铂等贵金属的重要原料。

铜的电解精炼还有周期反向电流电解法和永久性阴极电解法。周期反向电流电解法是将通过电解槽的直流电周期性短时间地改变电流极性，以便在提高电流密度的情况下降低电极极化（阳极钝化和阴极质量下降）的影响。实际应用的电流密度为 300~350 A/m²，这样可不增加设备面提高产量，或减少电解槽的数量、缩小厂房。但由于供电设备和导电排费用的增加而部分的抵消了上述优点。永久性阴极电解法是以不锈钢板作为阴极代替铜始极片，析出的铜达一定厚度时定期从不锈钢阴极板上剥离。阴极经处理后可重复使用。由于永久性阴极板规整平直，电流密度可提高至 255 A/m²，极间距离可缩短 10 mm，电流效率和作业率均较高。

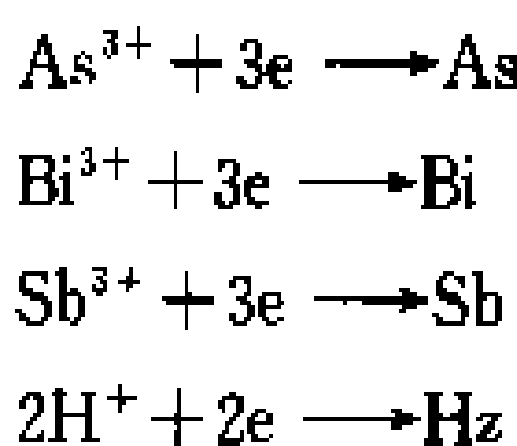
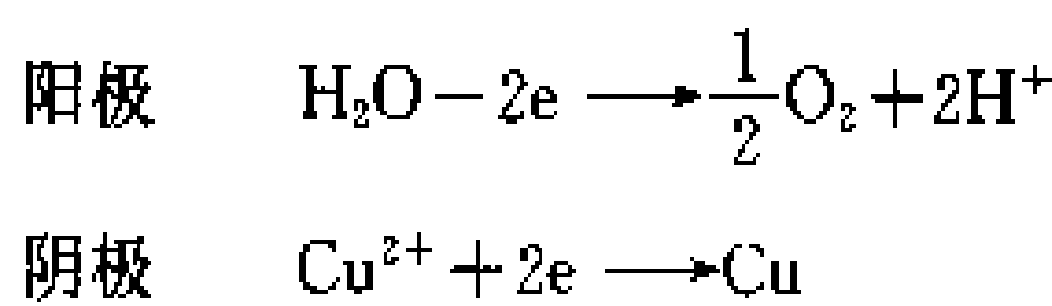
铜电解液净化 在电解过程中，大部分 Ni、Fe、Zn 和一部分 As、Sb 进入溶液，使电解液中的杂质不断增加，硫酸浓度不断降低。为维持电解的正常进行，必须定期从系统中抽出部分电解液进行净化，并补充一定量的硫酸。

铜电解液净化过程分为结晶析出硫酸铜，电解脱铜除砷、锑，回收硫酸镍。

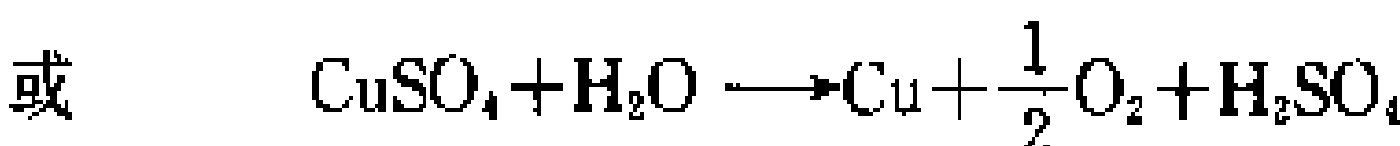
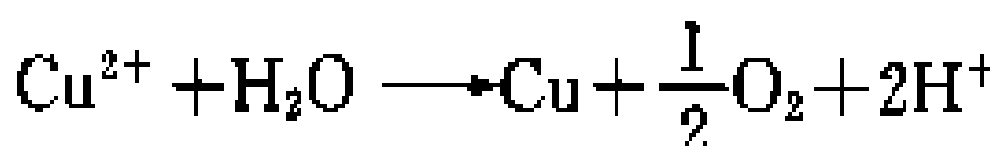
（1）浓缩结晶析出硫酸铜（胆矾）：抽出的电解液先经蒸发浓缩，使溶液含铜过饱和，然后结晶析出硫酸铜。也可用在溶液中加入铜屑、铜线等物料，鼓风使铜氧化溶解，以产生更多的胆矾。其反应如下



（2）电解脱铜除砷、锑：以结晶析出胆矾后的母液为电解液进行电积，进一步脱铜并除去 As、Bi、Sb 等杂质。脱铜电解常逸出有毒气体，须在单独的房间内进行，并加强通风。脱铜电解的阴、阳极反应如下



阴极总反应为



通常先产出合格的电铜，随着溶液中铜离子浓度的降低，As、Sb 大量析出，产生含 As 很高的黑铜粉。

（3）回收粗硫酸镍：电积脱铜后的溶液含有镍及硫酸。可用蒸发浓缩或冷却结晶的办法产出粗硫酸镍。母液则作为部分补充硫酸返回电解液中。

最早将电解应用于工业的是 J. B. 埃尔金顿 (J. B. Elkington)，1836 年，他使镀银工业化。在此基础上，于 1865 年确立了铜的电解精炼法。这种方法一直延用到现在。20 世纪 60 年代末，试验成功了周期反向电流电解法。1979 年，澳大利亚汤斯维尔精炼厂开发出永久性阴极电解法，以不锈钢板代替已沿用百余年的铜始极片阴极，寿命可达 15 年。

参考书目

赵天从主编．重金属冶金学．北京：冶金工业出版社，1981

（史习先）

tonggongye yongdian

铜工业用电 (electrical energy utilization of copper industry) 铜工业属有色金属工业，包括铜矿采选、炼铜和铜材加工等生产阶段。铜矿石需经磨碎、浮选，得到品位为 20%~30% 的铜精矿，再进行冶炼。炼铜的方法分火法和湿法两种，当今世界以火法冶炼为主。火法炼铜首先将铜精矿熔炼成含铜 40%~55% 的冰铜，再经吹炼、火法精炼产出精铜。精铜含铜 99.2%~99.7%，精铜中含有金、银等贵金属和少量杂质，通常铸成铜阳极供电解精炼以除去有害杂质并回收贵金属，若精铜中贵金属含量很少，也可直接铸成商品铜锭。商品铜锭经轧制、挤压、拉伸、锻造等方法将铜锭坯加工成板、带、箔、管、棒、型、线等铜材。

铜工业用电中，除电解铜外，以动力用电为主，铜电解与其他电解工艺用电特点一样，要求不间断供电（见铝工业用电）。铜矿开采用电与煤炭采掘工业用电特点类似，井下通风、排水属一级负荷（见煤炭工业用电），动力用电中以直接、间接为炉窑生产服务的鼓风机、冷却系统用电为主，炉窑炉壁冷却系统等用电属二

级负荷，为保证一级负荷用电需设置保安电源。

火法炼铜 一般经过熔炼、吹炼、精炼工序，也有在熔炼前增加一个焙烧工序的。

造硫熔炼 是火法炼铜的主体工序。一般在鼓风炉、反射炉、电炉内进行，熔炼出冰铜。熔炼原理是使铜精矿中的铁氧化并与脉石熔剂等造渣除去。反射炉适用于处理浮选出的粉状铜精矿，鼓风炉用于处理湿捏成膏状的硫化铜精矿。遇有以下三种情况常使用电炉熔炼：①冶炼燃料短缺又有丰富水电资源的地区；②精矿中含有大量难熔脉石成分，采用其他方式需配以大量熔剂的；③需减少 SO_2 烟气，消除大气污染的地区。

电炉熔炼是利用电能通过熔融炉渣所产生的高温熔化物料，固体炉料单耗为 $400 \sim 500 \text{ kW} \cdot \text{h/t}$ 。电炉熔炼的优点是：①温度容易控制；②不配或少配熔剂即可处理难熔物料；③炉渣残留铜少；④环境污染少；⑤热效率高。

此外，还有一种把焙烧和熔炼两个工序置于一个炉内完成的闪速熔炼炉。这种炉冶炼生产率、热效率都高，熔炼出的冰铜品位高，硫的回收好，易于回收硫酸，减少大气污染，但由于辅助设备多，投资大，只适于大型冶炼厂。

冰铜吹炼 冰铜经过吹炼可制成品位为 $98\% \sim 99\%$ 的粗铜。一般在卧式转炉内吹炼。吹炼时在熔融冰铜中鼓入空气，加入适量石英熔剂，将冰铜中的铁几乎全部氧化并造渣除去。冶炼粗铜的综合电耗为 $600 \sim 1300 \text{ kW} \cdot \text{h/t}$ 。

粗铜精炼 有火法精炼与电解精炼两种。火法精炼是利用某些杂质对氧的亲合力大于铜而其氧化物又不溶于铜液的性质，在反射炉或回转精炼炉内升温鼓风使杂质氧化挥发造渣扒出。火法精炼出的精铜为火精铜，一般含铜 $99.2\% \sim 99.7\%$ 。

为了回收火精铜中的贵金属，再把火精铜进行电

解精炼。电解精炼是以火精铜为阳极，以电解铜片为阴极，在含硫酸铜的酸性溶液中进行电解，电解出的电解铜含铜 $99.95\% \sim 99.97\%$ ，贵金属富集在阳极泥中。电解铜电解耗直流电 $230 \sim 260 \text{ kW} \cdot \text{h/t}$ （见铜电解）。

用电特点 由于炉窑、电解均为连续运行，因此铜工业的用电负荷曲线较平稳；除少数鼓风等高压大电动机为同步电动机外，其余均为异步电动机，因此自然功率因数较低，需要进行无功功率补偿。

（蒋凤铎 顾嘉棠）

tongtiesun dianliang

铜铁损电量 (copper - iron loss electricity quantity)

运行变压器的有功、无功损耗电量。高电压供电的用户，一般在用户变压器高压侧进行电能计量，执行高电压电价，变压器有功、无功损耗已计入用户用电量之内。为了减少用户受电装置的建设资金和维护的技术难度，对规定为较小用电容量的高电压用户，允许在用户变压器低压侧进行计量，其变压器有功、无功损耗电量也应计入用户用电量内，仍执行高电压电价，因此需要计量变压器的有功和无功损耗。

变压器的有功、无功损耗分别对应变压器的可变损耗和固定损耗（见变压器节电技术）两部分。可变损耗即变压器绕组损耗的电量，又称铜损电量。它随用电负荷和功率因数的高低而变化的，一般通过变压器短路试验测得其满载时的铜损电量，再按其运行时间和负载特性折算其铜损电量；固定损耗又称铁损电量，即变压器的铁芯损耗电量。它不随负载变化而变化，一般通过变压器空载试验测得。

变压器的固定损耗和可变损耗，也可通过其性能试验报告取得。

（王世焜）



weibo jiare

微波加热 (microwave heating) 见高频电场加热。

weibolu

微波炉 (microwave oven) 一种利用微波辐射烹饪食物的厨房器具。按控制功能不同分为普通型和全自动型；按结构不同分为独立式、轻便式和嵌入式；按使用频率不同分为 915, 2450 MHz 微波炉，前者多用于工业、商业部门，后者主要用作家用炊具。

简史 微波炉的烹调原理，可追溯到第二次世界大战期间。1947 年美国雷声 (Raytheon) 公司的 P. L. 斯潘塞 (Percy L. Spencer) 博士，获得第一个微波炉的专利，1952 年用“斯潘塞”命名的由美国泰潘公司 (Tappan) 生产的微波炉诞生。1955 年该公司向销售市场推出了第一台微波炉。1963 年美国通用电气公司生产出微波-电热两用炉，1975 年阿曼纳 (Amana) 公司的电脑微波炉相继问世。

工作原理 通常把波长为 1~1000 mm、频率为 300~300000 MHz 的电磁波称为微波。这个频带的电波主要用于无线电通信，为了对雷达、通信系统不产生干扰，规定 915 MHz 和 2450 MHz 两个微波频率，为加热烹饪专用。

微波在辐射过程中，具有穿透某些物质（如玻璃、陶瓷、塑料等）和被金属反射、食物吸收的性能。所以当食物受其辐射时，在微波电磁场作用下，其分子以 9.15 亿次/s（对 915 MHz）或 24.50 亿次/s（对 2450 MHz）作快速摆动，致使分子间摩擦作用加剧，并产生大量热能，从而完成电磁能向热能转换，食物同时被加热烹饪。采用微波炉烹饪食物，具有迅速、均匀，并保持色、香、味具佳的特点。

微波炉主要由磁控管、整流器、变压器、加热室（或内胆）、炉门、搅拌器、波导和外壳等部件组成，如图 1。

微波炉的电路如图 2 所示。电源通入变压器一次

绕组后，一方面变压器通过灯丝绕组供给磁控管灯丝电流，另一方面由高压绕组输出高压送至倍压整流电路，变成直流负高压加到磁控管的阴极，磁控管产生振荡并发射出 915 MHz 或 2450 MHz 的微波，经过波导传输到加热室。随着搅拌器的低速

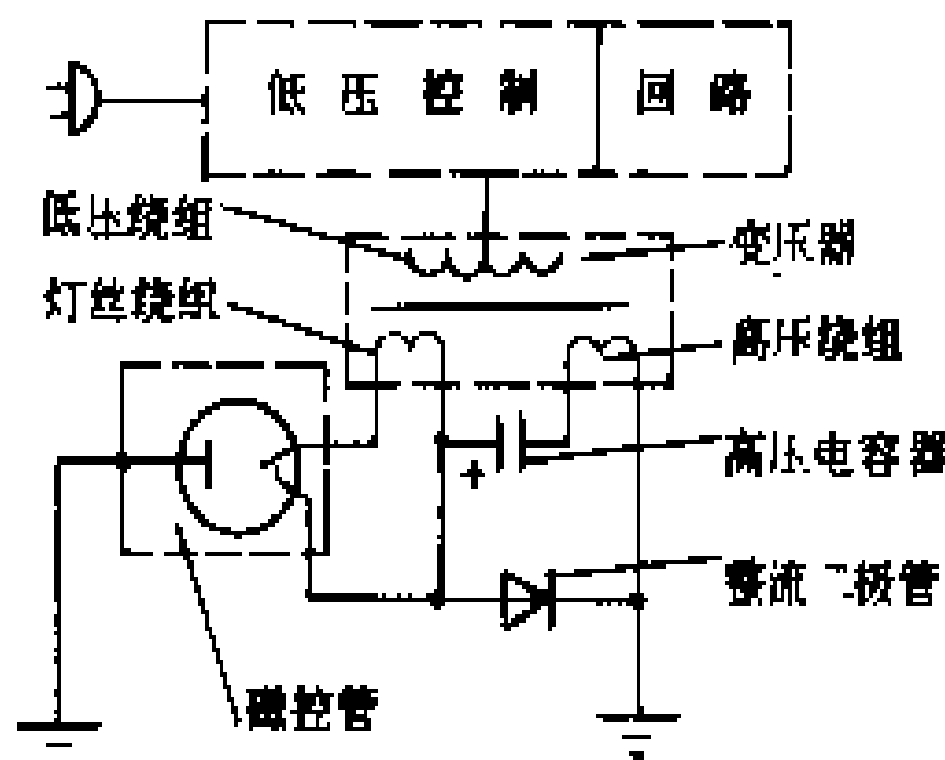


图 1 微波炉结构示意图

缓慢转动，在加热室中辐射出均匀分布的微波。加热室由金属材料制成，微波在加热室里可来回反射，并被食物反复吸收，完成烹饪过程。炉门与加热室接缝要求高度密封，确保微波泄漏在允许范围内。炉门开启时通过连锁开关触点，断开微波炉的电源，微波停止辐射，防止开门时对人的伤害。

安全 微波炉的安全主要考虑两个方面，一是微波

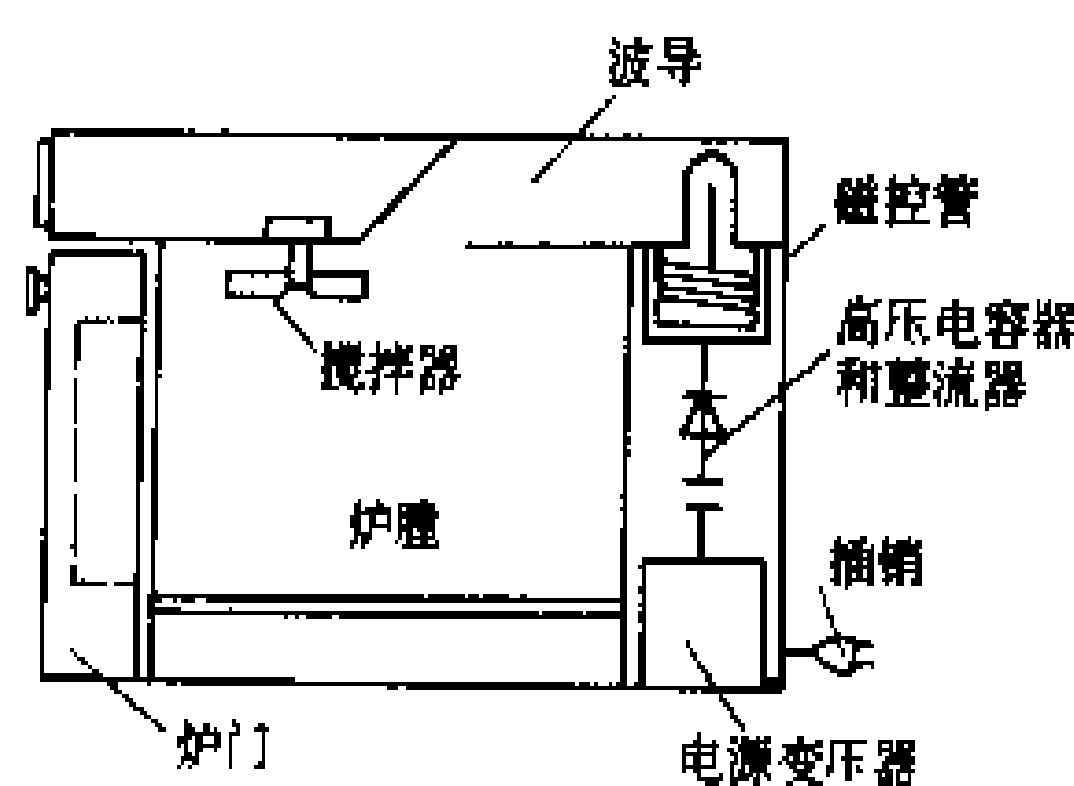


图 2 微波炉电路

波对人体的伤害。微波同其他频率的电磁波一样，对人体照射会产生有害的影响。因为家用微波炉中的 2450 MHz 的微波，能快速烧伤眼球的

水晶体和睾丸的内部组织，严重时致使眼睛失明和影响生殖能力。国际电工委员会 (IEC) 有关条例规定微波炉的泄漏标准为：在距离微波炉 5 cm 的周围空间，微波辐射强度不得超过 5 mW/cm²。二是防止微波短路。因为微波对金属具有反射性能，所以加热室的食物容器不能采用金属材料，面应使用玻璃、陶瓷、热固性塑料，否则将产生微波短路而损坏微波管或磁控管。

20 世纪 80 年代以前的微波炉，多为普通型产品，一般均备有控时、控温和功率调节功能。带有电子计算机控制的全自动微波炉，通过按键式开关、接触感应开关或磁性卡片等输入形式，可按计算机的预定输入程序，完成自动解冻、全功率或半功率加热、自动保温等功能。

80 年代以后，出现了以电脑控制为基础的全自动电子化多功能微波炉。它的预定输入程序，少则十几种，多至几十种；其控制方式除广泛采用的按键式、接触感应式和磁性卡片输入式外，还可通过人的声音进行控制。

(张应端)

weixin jisuanji

微型计算机 (microcomputer) 用大规模集成电路或超大规模电路制成,能接受数据,按照指令(程序)自动进行运算并提供运算结果的数字计算设备。

发展简况 1941年德国的K. 朱赛等人研制出全自动继电器计算机,已具有现代计算机的雏形。1946年美国宾夕法尼亚大学莫尔学院研制出电子数字积分计算机“ENIAC”被认为是世界上第一台现代电子计算机。1970年以后,随着大规模和超大规模集成电路的问世,微型计算机逐步发展起来。计算机的发展已经历了四代,现在正在研制的智能型计算机为第五代。

一套完整的计算机系统可分为两大部分:硬件系统和软件系统。软件在计算机中的地位显得越来越重要,在评价计算机系统时,软件的好坏已成为其重要的指标。

硬件系统 计算机主机及其外围设备,简称为硬件或硬设备。硬件一般包括微处理器、存储器和外部设备三大类。

微处理器 微处理器是计算机的核心部件,主要由控制部件、算术运算部件及一些支持电路组成。控制部件是整个微机的指挥控制中心,由它向微机的各部分发出协调工作的“指令”。算术运算部件不仅能执行加减乘除四则运算,还能进行逻辑比较、判断等运算。

存储器 存储器是计算机的记忆元件。它将大量原始数据、程序、中间结果以及其他各种信息存储起来,供计算机随时调用。存储器有两类:随机存储器(RAM)、只读存储器(ROM)。RAM中的信息是随机存储的,计算机可随时将信息存入或取出。ROM中的信息是事先固化在芯片上的,不能随意更改,运行时,用户只能从其中取出已有信息使用。

外部设备 外部设备主要有输入、输出设备及外存储器。输入输出设备是使用者与计算机交流信息的界面。输入设备将各种原始信息转换成电信号,并顺序送入计算机,如键盘、光笔、光学阅读器等。输出设备将计算机处理结果以人能识别的形式显示出来,如屏幕显示器、打印机、绘图仪等。外存储器是内存存储器RAM及ROM的补充。应用的最普遍的是磁盘机,此外还有磁带机等。

软件系统 计算机是按照一定算法自动进行信息处理的工具,它的处理对象是信息而处理结果也是信息。算法是定义精确的一系列算法规则,指出怎样以给定的输入信息经有限步骤产生所需的输出信息。算法的特定表示称为程序或软件。软件可分为系统软件和应用软件两大类。

系统软件 用于计算机自身管理、控制和运行,以

及计算机程序的翻译、装入、管理和运行的程序。这些程序又可细分为操作系统、语言编译系统、监控程序及故障分析程序等。系统软件是计算机正常运行必不可少的。

应用软件 为某种应用而编制的专门程序。这些程序一般是用户根据自己的需要编制或选购的。

微型计算机分类 按结构原理微型计算机可分为三大类:单片机、单板机、多板机。

单片机 将微处理器、存储器及输入输出接口制在一块集成电路芯片上构成的计算机。多用于各种测量、控制仪器、自动化设备甚至玩具。

单板机 由一片微处理器及若干片外围电路包括存储器及各种接口布置于同一印刷电路板上构成的计算机。其中除存储器通用外,其他集成电路芯片多为某种微处理器专门设计的。单板机多作为核心部件用于数字系统内。

多板机 将单板机模块及附加存储器模块、接口模块插入带电源的机箱底板上,并通过底板上的总线互相连接构成微型计算机。这是微型计算机中影响最大、应用最广、发展最快的一种。

按照操作中所能传递的二进制位数最大值微型计算机可分为:4位机、8位机、16位机、32位机和64位机。

(任杰)

weizhang yongdian

违章用电 (transgression for use electricity) 供用电法规不允许出现的用电现象。

出现违章用电有的会扰乱正常供用电秩序,有的会引发危及人身和财产不安全的因素,有的会造成供电企业或其他用户的经济利益的损害。因此违章用电是世界各国都明令不允许出现的用电现象。为告诫违章者,对违章用电还规定有处罚的规定。

违章用电现象 在中国,对下列用电现象,认定为违章用电:①在电价低的供电线路上,接入电价较高的用电设备用电。这会直接影响供电企业少收电费。②超过用电申请时提出的用电容量用电,或者超过双方合同约定的容量用电。③使用已向供电企业办理了暂停用电手续的用电设备,或者启用因某种原因被供电企业查封的用电设备。④迁移、更动或操作供电企业管理的供用电设备,如用电计量装置、负荷管理装置、供电设施或者双方约定由供电企业调度的用户受电装置中的设备。⑤在未经供电企业许可的情况下,引入或供出电源,或者将自备电源并入电网运行等现象。

违章处理 为维护正常的供用电秩序,保障供用电的安全,保护供用双方的合法权益,对违章者给予一



定的处罚,是世界各国供用电管理的惯例。中国的供用电法规规定对违章用电的处罚除应立即制止外,还应视违章事实和情节的不同,追补差额电费、加收其他费用,情节严重的,还可以停止供电。因违章用电致使供电企业或其他用户的供用电设备损坏的,违章者还应承担赔偿责任或修理的责任。

(王世煌 顾嘉来)

weizhi kongzhi

位置控制 (position control) 对被驱动物体的空间位置进行自动控制的技术。位置控制的应用非常广泛,各种机械加工设备、许多工业装置都需要进行位置控制。位置控制可以是一维、二维或三维空间的位置控制。

分类 根据控制任务的不同,位置控制可分为定位控制和运动轨迹控制两类。

(1)定位控制。控制的任务是移动被驱动物体从一个确定的位置到另一个确定位置,不管两位置之间所经过的路径。这种控制在冶金、机床制造、起重运输机械等各个技术领域得到了广泛应用。其位移轨迹特性要保证最小的位移时间(即最大生产率)和没有显著的位置超调。

(2)运动轨迹控制。控制的任务是保证被驱动的物体按规定的路径到达最终位置。如在机械加工设备上应用运动轨迹控制对工件连续不断地加工,以保证工件达到规定的轮廓。所以运动轨迹控制在机械加工领域内又叫轮廓控制。

控制系统 为了实现位置控制,需要构成位置控制系统。控制系统可分为位置开环控制系统,非直接位置闭环控制系统,直接位置闭环控制系统,计算机位置控制系统。

(1)位置开环控制系统。一般采用步进电动机作为执行机构。步进电动机是一种将输入脉冲信号转换为输出轴的角位移(或直线位移)的执行元件,电动机每输入一个脉冲信号,输出轴便转过一个固定的角度(或直线位移),即向前迈进了一步。因而,输出轴转过的总角度(或总位移)是与输入脉冲数成正比的,控制输入脉冲数即可控制和确定被驱动物体的位移和位置。这种控制方式不需要位置反馈,其原理框图如图1所示,由位置控制器设定其输出脉冲个数,同时设定旋转

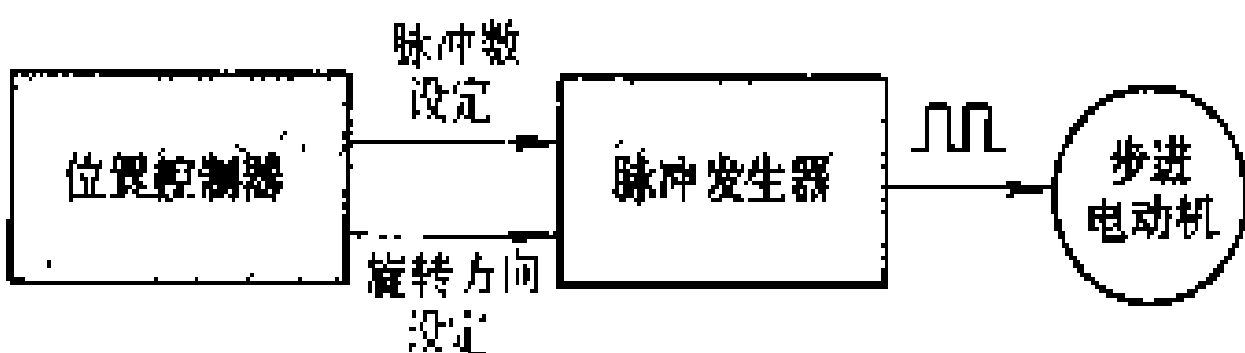


图1 位置开环控制系统原理图

方向。

(2)非直接位置闭环控制系统。一般采用各种交、直流伺服电动机(MS)作为执行机构。如图2所示,装在电动机轴端的增量式光电编码器(也可用旋转变压器)提供位置反馈信号,并与位置控制器输出的设定位置相比较,其位置差值经控制单元和功率变换单元供电给电动机,当电动机旋转至所要求的角度时,位置差值为零,电动机停止在所要求的位置上。由于位置检测元件仅能反映电动机所旋转的角度,不能真正反映被驱动物体的位移,电动机轴与被驱动物体之间的传动机构所存在的误差(由齿轮的间隙,丝杠的不均匀度等所引起)不能考虑在内。因此,为了提高控制精度,需要通过上一级的数控设备予以补偿和修正。

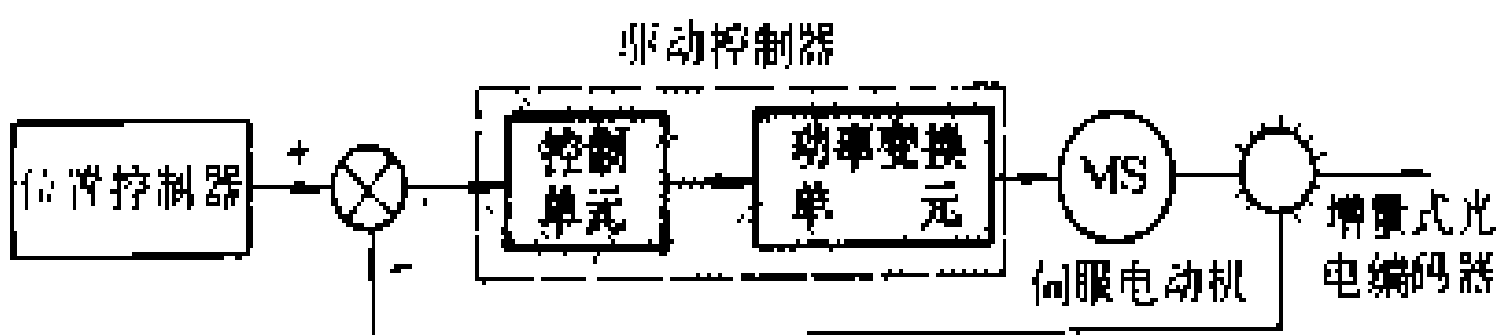


图2 非直接位置闭环控制系统

(3)直接位置闭环控制系统。这种控制系统的位置检测元件系直接装在被驱动物体上。使用的检测元件有各种直线或旋转感应同步器等,它们已将因传动机构带来的误差考虑在内,从而直接控制被驱动物体的位置。其原理框图如图3所示。

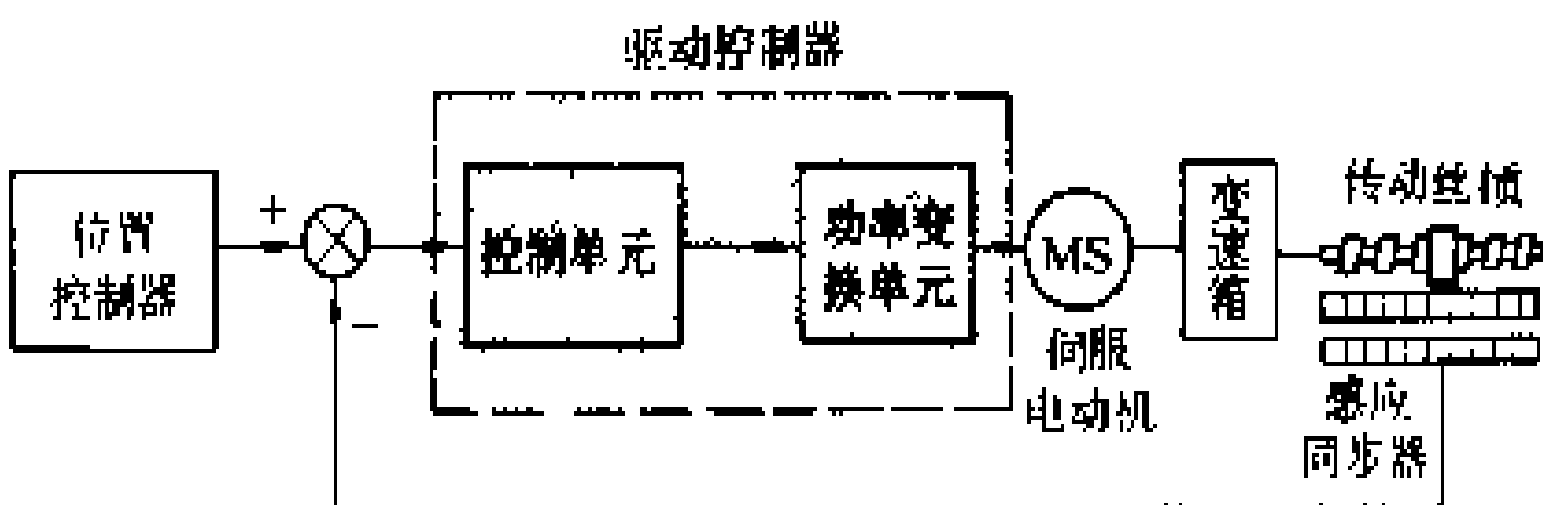


图3 直接位置闭环控制系统

(4)计算机位置控制系统。直接数字位置自动控制(DDC-APC)系统(一种计算机位置控制系统)框图如图4所示,所用的电力拖动系统是无级调速的。反馈量系利用自整角机输出经模数转换器变为数字量,与

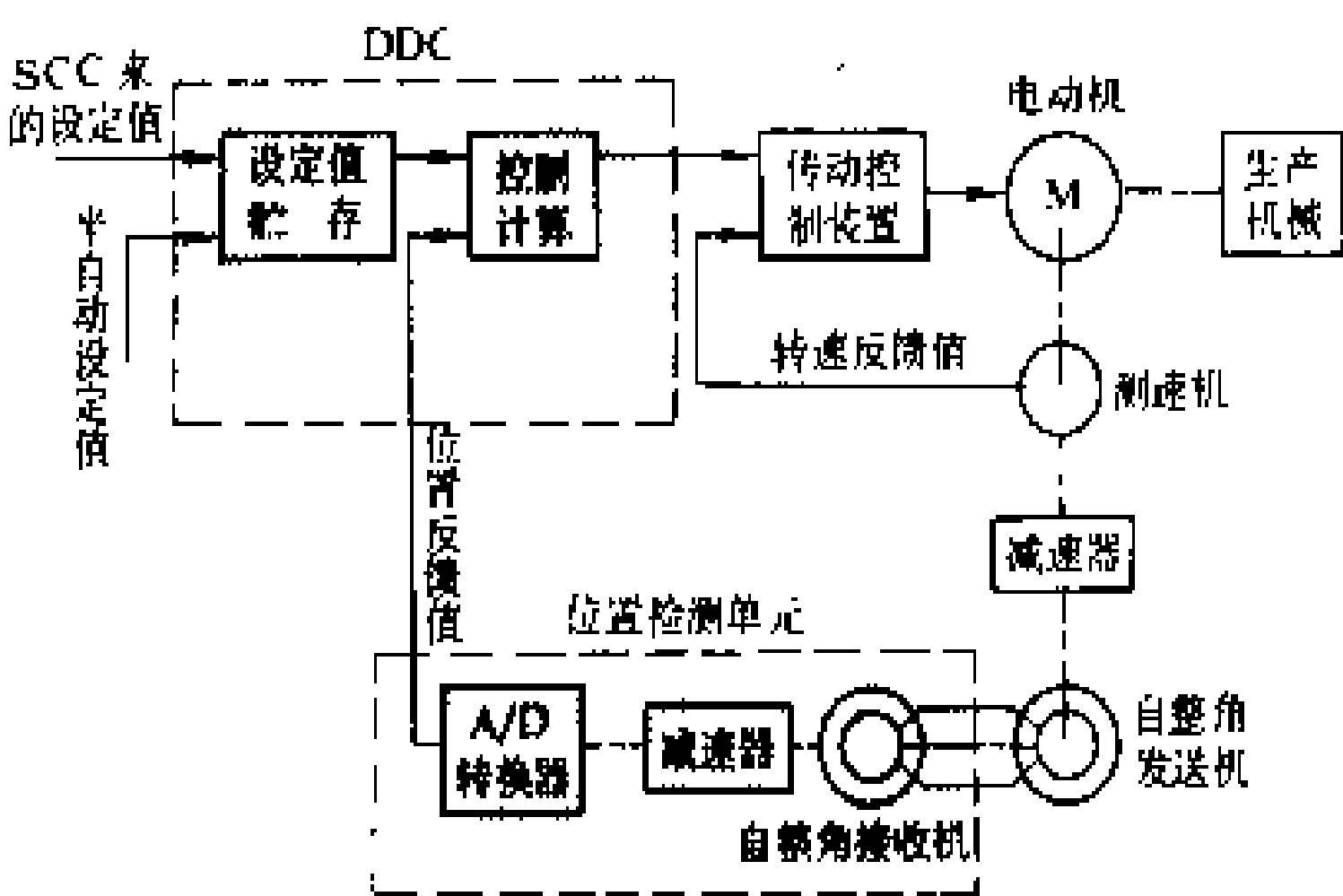


图4 采用无级调速的DDC-APC系统框图
SCC—监控机

位置设定值比较后,计算机在采样周期内根据位置偏差算出电动机应有的转速,并把所对应的电压控制信号输送到转速调节器(包括在传动控制装置中),从而控制电动机的转速,使被驱动物体达到所要求的位置为止。

(余锡仁 施传立)

wendu kongzhiqi

温度控制器 (temperature controller)

按预定温度值对加热或制冷系统的温度变化及启停进行控制的装置,简称温控器。温度控制器主要由温度调节系统、温度传感元件、放大和比较系统、执行机构等部分组成。①温度调节系统,根据实际使用需要,由使用者在一定的温度范围内预先设定温度值,使温控器所控制的加热或制冷系统在以设定值为中心的一定范围内变化。②温度传感元件将被测物体温度的变化转换成机械位移量或电信号。③放大和比较系统将温度传感元件感应出的机械位移量或电信号进行放大,然后送到比较器进行比较,用以确定温控器的启停动作状态。④执行机构用于接通或关断电路。

按工作方式温度控制器可分为温感压力式温控器、双金属片温控器、磁性温控器和热敏电阻温控器。

温感压力式温控器 以温压转换部件作为温度传感元件的一种机械式温控器(图1)。当感温管所在测温部位的温度变化时,感温管和感压腔连通的密闭系统内的感温剂(通常为氟甲烷、氟利昂12或氟利昂22)压力变化,传动膜片产生位移,通过杠杆推动微动开关触点的通断,达到控制温度的目的。其温度调节依靠旋转凸轮和温度范围调节螺钉改变弹簧的压力,进而改变传动膜片的初始拉力来实现。这种温控器多用在电冰箱、房间空气调节器等家用电器中。

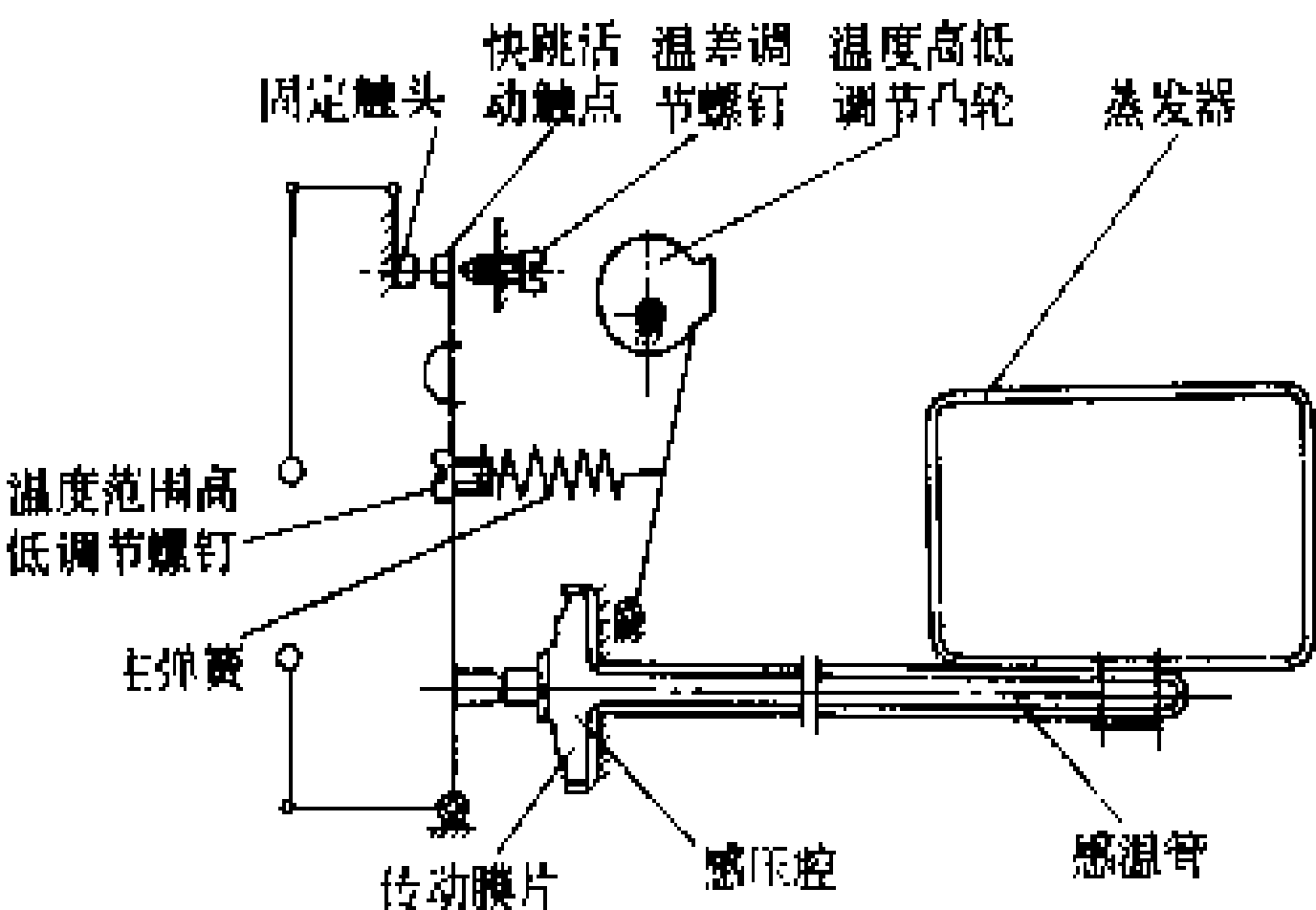


图1 温感压力式温控器

双金属片温控器 以热膨胀系数相差悬殊的两金属片或合金片彼此贴压成型作为温度传感元件的温控器。当传感元件受热时,具有较高膨胀系数的金属片即向低膨胀系数的金属片一侧弯曲,进而带动动触点与静触点接通或断开。温度调节则通过双金属片或弹簧

片的初始压力来完成。这种温控器控温精度不高,主要用于电熨斗、电热水器等家用电器中。

磁性温控器 以磁性材料作为温度传感元件的温

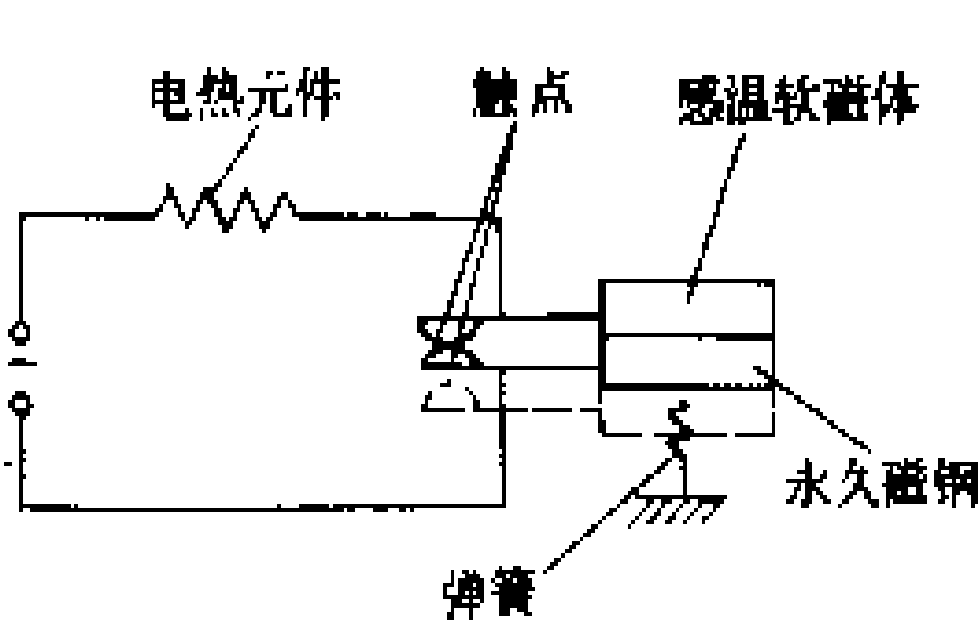


图2 磁性温控器

控器(图2)。感温软磁体(镍锌铁氧体)和永久磁钢(磁感应强度为 $7 \times 10^{-2} \sim 9 \times 10^{-2} \text{T}$ 的镍钒铁氧体)之间在常温条件下具有较强的磁吸力,而当环境温度升高,感温软磁体受热到居里点时(一般在 $102 \sim 120^\circ\text{C}$),其导磁系数急剧降低,致使弹簧的拉力大于两磁体之间的吸引力,则永久磁钢下移,使开关触点断开。这种温控器不能自动复位,故只能用于限温断开控制,如电饭锅、电烤箱、电熨斗等家用电器的温度控制。

热敏电阻温控器 通常将传感元件热敏电阻置于要控制的部位,当温度改变时,引起热敏电阻的阻值剧变,发生继电效应,电流雪崩式增加,该电流经过放大或直接流经执行元件(如继电器)使之动作,从而达到控温目的。热敏电阻温控器控制精度高,功能完善,但系统较复杂,价格较高,故多用于高档电冰箱、空气调节器等家用电器中。

(张国志)

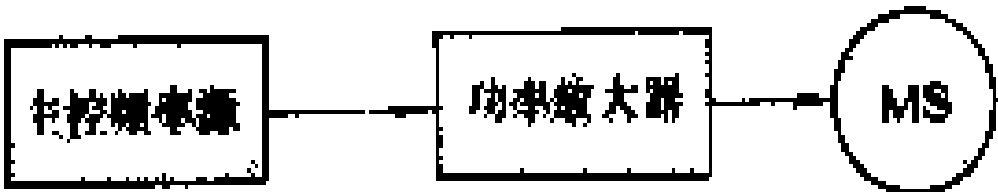
wensu kongzhi

稳速控制 (speed stabilizing control)

能实现电动机以一定的稳速精度长期运行的技术。稳速精度是指在规定的电源电压、电源频率和负载波动条件下,在规定的测试时间内,不少于规定次数的转速测量值(每次测量时间以秒计)的方均根误差与额定转速之比的百分数。某些生产机械,如中型抄纸机、橡胶压延机等,为保证产品的质量,要求的稳速精度为 $0.2\% \sim 1\%$;高速纸机、微电机测试设备、超音速风洞等,为保证测试数据的准确性要求稳速精度为 $0.1\% \sim 0.01\%$;稳速控制还能实现负公差生产,可用同样的原料生产更多的产品。是否带反馈环节进行分类,可分为开环稳速控制与闭环稳速控制两大类。

开环稳速控制 用于控制同步电动机。一般由高精度的主控频率源和功率放大器组成开环稳速系统,如图所示。电动

机的转速取决于主控频率(见变频调速)。为保证



开环稳速控制

要求的稳速精度,主控频率的稳定度应比稳速精度高一个数量级。主控频率值又应是可调的,以满足调节转



速的要求。主控频率源的频率控制器有三种：①石英晶体振荡器配以可变分频器。本方案分级较粗，且分布不均匀。②石英晶体振荡器配以频率合成器。本方案频率稳定度高，能满足各种稳速控制要求，但线路复杂，价格较贵。③LC 振荡器或 RC 振荡器。本方案可用于稳速精度要求不高的场合，如采用温度补偿措施，频率稳定度可以有所提高。

开环稳速控制可得到很高的静态精度，但动态特性不易调控，因而适宜于没有负载波动的精密试验设备的控制，如校验转速表用的标准转速仪表等。

闭环稳速控制 带有实际转速反馈量的稳速控制。当实际转速偏离给定转速时，给定转速与反馈转速比较产生偏差信号，经过调节器作用控制功率部件，从而使实际转速保持转速给定值。按照给定量和反馈量的不同形式，闭环稳速控制可分为转速模拟控制，转速数字控制，转速频率控制。

(1)转速模拟控制。转速给定量和转速反馈量都是模拟量时的稳速控制。转速反馈信号利用测速发电机获取。由转速反馈构成转速闭环控制，可减小电网电压波动和负载变化引起的转速波动，其稳速精度受到测速发电机本身精度所限。采用一般测速发电机时，稳速精度约为 1%；采用较高精度的测速发电机，稳速精度可提高到 0.2%~0.3%。

(2)转速数字控制。转速给定量和转速反馈量都是数字量时的稳速控制。转速给定输入为数字量，转速反馈为脉冲频率，并转换为数字量。在加法器中两个信号进行比较，并通过电流调节器控制电动机的转速。转速数字控制的稳速精度高，可达 0.01%~0.02%。

(3)转速频率控制。转速给定信号与转速反馈信号均为一定频率的脉冲信号时的稳速控制。两种脉冲信号比较后，以模拟量输出，再由调节器综合、放大，以控制电动机的转速。常用的控制方案有：频率电压变换、比周、差频、锁相等。转速频率控制的线路比较简单，动态反应快，稳速精度高，其值可在 $3 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-6}$ 范围内选择。由于转速频率控制应用了脉冲技术和数字电路，有时将它归入转速数字控制一类。

稳速精度及控制系统的构成 稳速精度通常采用频率法，利用和电动机同轴安装的转速传感器发出的脉冲频率，用数字频率计检测。检测时在规定测试时间内，每隔一定时间采样一次（每次测量时间以秒计），不少于规定次数采样。其稳速精度为

$$\delta = \frac{\sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(n_i - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m n_i \right)^2}}{n_N} \times 100\%$$

式中 m 为采样次数； n_i 为第 i 次采样的实测转速，r/min； n_N 为额定转速，r/min。

习惯上，也可采用最大误差法计算稳速精度。其表达式为

$$\Delta = \frac{n_{\max} - n_{\min}}{n_{\max} + n_{\min}} \times 100\%$$

式中 n_{\max} 为采样测得的最高转速，r/min； n_{\min} 为采样测得的最低转速，r/min。

在有条件使用带统计键的计算器的情况下，建议采用方均根误差法计算。

稳速控制的稳速精度可以分为以下几类：①低精度——大于 1%~5%；②中等精度——0.1%~1%；③高精度——0.01%~0.1%；④超高精度——小于 0.01%。

稳速控制系统的构成与稳速精度的要求有直接关系，稳速精度的要求不同，可用不同的信息和控制装置来构成。对于低精度和中等精度的稳速控制系统，可应用转速模拟控制，采用一般的晶闸管变流器控制且可带减速器的电力拖动；对于高精度和超高精度的稳速控制系统，可应用转速数字控制或转速频率控制，采用脉宽调制变流器控制等无减速器的电力拖动。

(施传立 陈元标)

wenyaqi

稳压器 (voltage regulator) 能稳定电源电压的电器。当电网电压或负荷发生变化时，稳压器能使供给负荷的电源电压近于恒定。在电力系统中，稳压器常被用在对供电电源电压稳定性要求较高的场合。稳压器按输出电压分为直流稳压器和交流稳压器两类。

直流稳压器 将交流电或不稳的直流电转化为稳定的直流电压输出的电器。直流稳压器主要有线性稳压器和开关稳压器等。

线性稳压器 图 1 为其原理框图。图中电源变压器和整流滤波电路的作用是将交流电压经变换电压后，由整流电路变为直流，再经滤波电路消除一定纹波

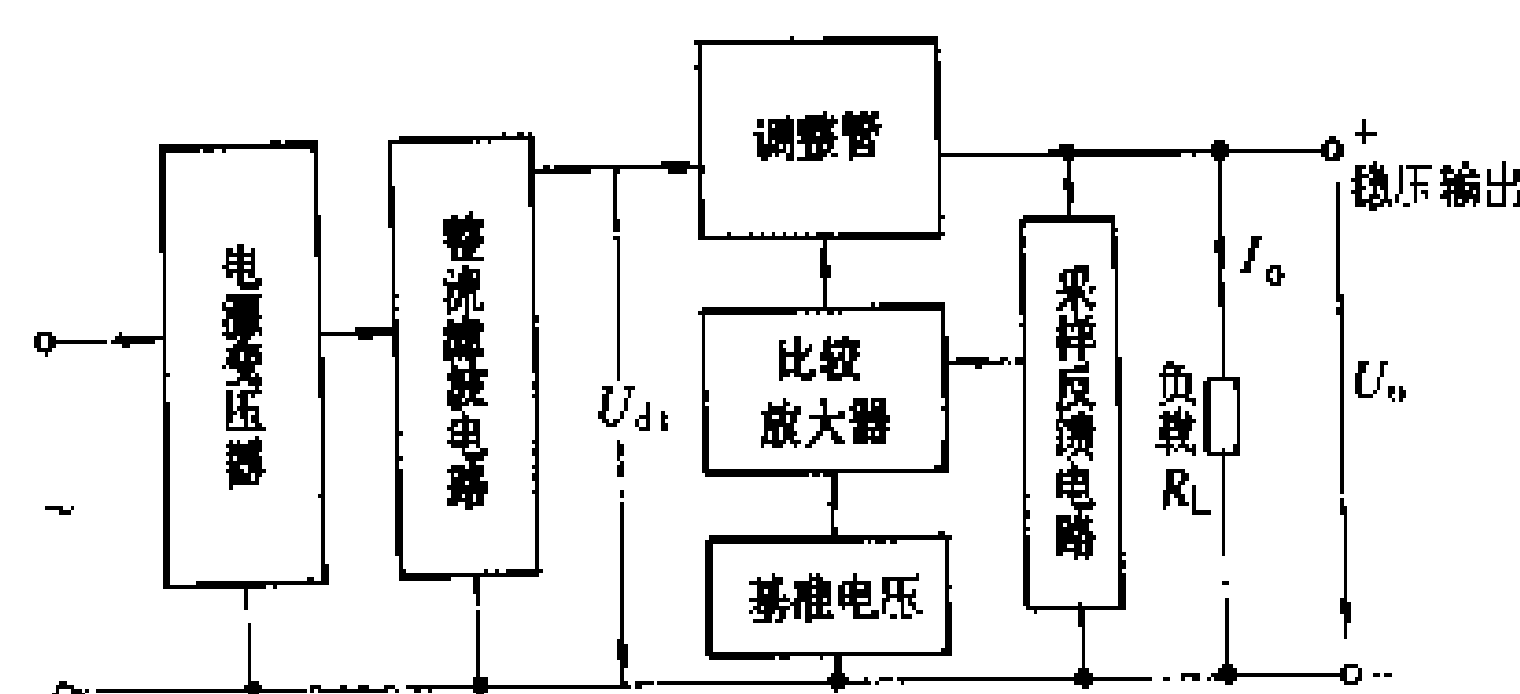


图 1 线性稳压器的原理框图

加于稳压电路的调整管上。假若输出电压 U_o 随输入的不稳定直流电压 U_d 或负荷电流 I_o 的变化而发生变化时，采样反馈电路和比较放大器能将变化的信号加以放大，送给调整管，使调整管的管压降发生相反的变化

来抵消输出电压的变化，从而维持输出电压的稳定。

线性稳压器的特点是稳压精度高、输出阻抗低、纹波脉动小、能输出比较大的电流，但该稳压器中的调整管必须始终工作于线性放大区才有稳压作用，因此，它的功率转换效率比较低。

开关稳压器 图 2 为脉宽调制型开关稳压器的原理框图。图中调整管是以开关方式进行工作的，其输出电压 $U_o=U_a\frac{T_{on}}{T}$ 。当输入电压 U_a 或负载电流 I_o 发生变化使输出电压 U_o 变化时，通过采样反馈电路和脉宽调制控制器使调整管的导通时间 T_{on} 发生相反的变化从而使输出电压 U_o 维持稳定。由于开关稳压器中调整管饱和导通时管压降很低，截止时流进它的电流很小，在开、关工作过程中调整管上的损耗很小，所以开关稳压器的效率高达 80% 以上。但其稳压精度比高精度的线性稳压器低，输出电压中的纹波脉动也较大。

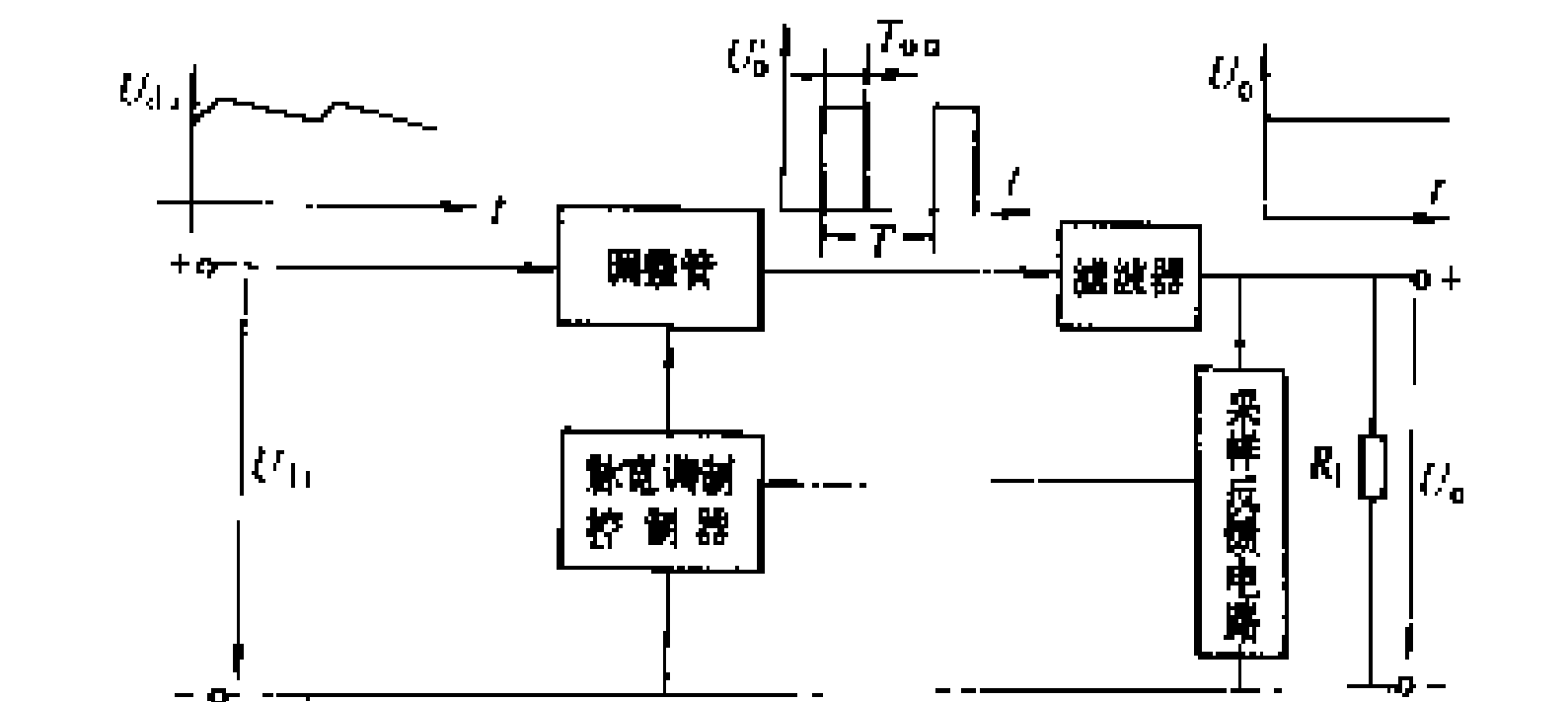


图 2 脉宽调制型开关稳压器框图

交流稳压器 将电网的交流电压转化为稳定的交流输出电压的电器。交流稳压器按其工作原理可分为：铁磁谐振式稳压器、稳压变压器、磁放大器式稳压器、数控式稳压器、净化式稳压器，还有带伺服电动机的感应式稳压器、自耦变压器式稳压器、晶闸管式稳压器、稳压稳频（Constant Voltage Constant Frequency, CVCF）稳压器、补偿式稳压器等。

铁磁谐振式稳压器 亦称磁饱和式稳压器。图 3 (a) 所示为非线性电感 L 和线性电容 C 的并联铁磁谐

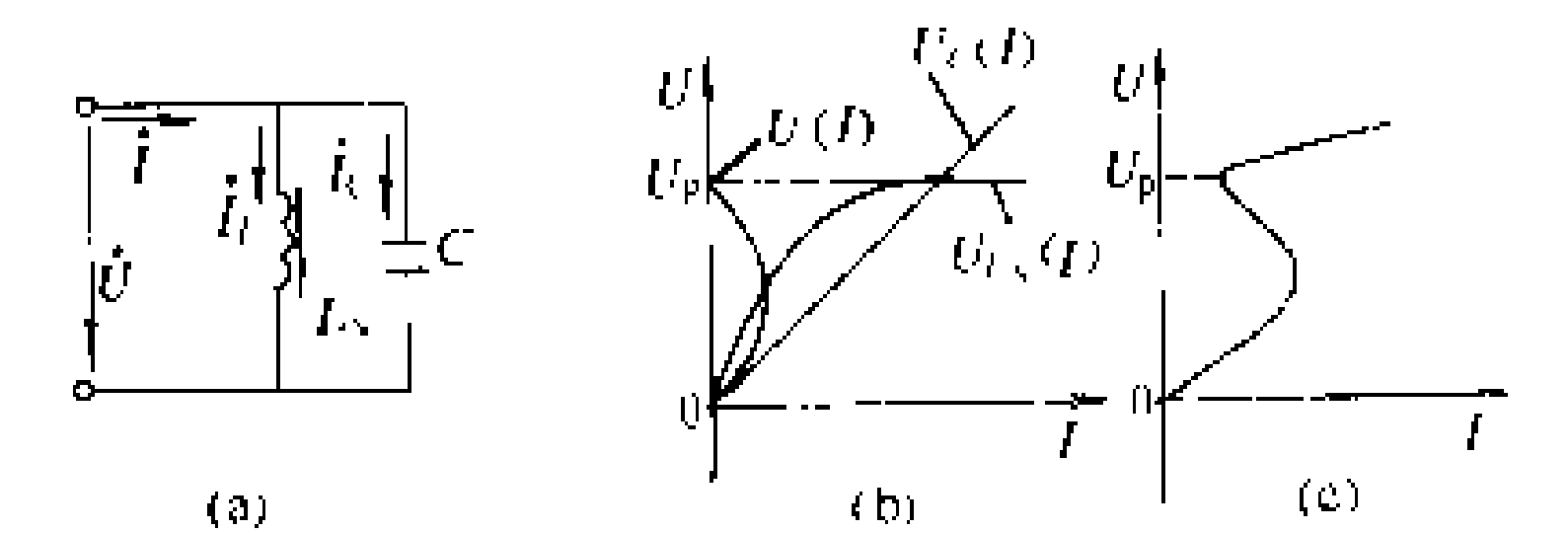


图 3 非线性电感和线性电容的并联电路及其伏安特性

(a) 电路；(b) $R=0$ 时的伏安特性；(c) $R\neq 0$ 时的伏安特性

振电路，其伏安特性曲线如图 3(b) 所示。图中 $U_C(I)$ 为线性电容的伏安特性曲线， $U_L(I)$ 为非线性电感 L

的伏安特性曲线， $U(I)$ 为铁芯电感线圈 L 和电容 C 在其电阻 $R=0$ 时，并联谐振电路的伏安特性曲线， U_p 为其谐振点电压值。

当 $R\neq 0$ 时，伏安特性曲线如图 3 (c) 所示。由图可见，当并联电路一旦进入谐振后，只要 $U>U_p$ ，线圈的铁芯就处于深度饱和状态。这时，它对外加电压有效值的变动反应十分“迟钝”，因此只要外加电压的最小值大于 U_p ，它就具有稳压作用。

图 4 为一简单并联式铁磁谐振交流稳压器的原理图。图中 L 为一线性电感，其伏安特性 $U_L(I)$ 和并联谐

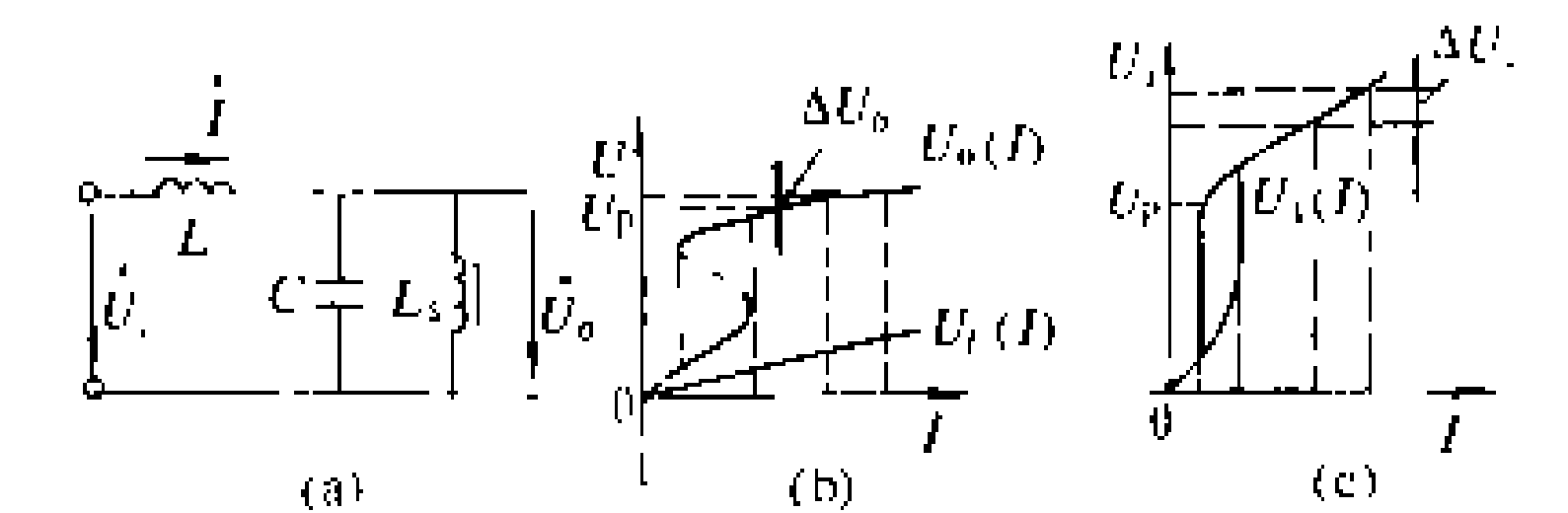


图 4 简单并联式铁磁谐振交流稳压器原理图

(a) 电路图；(b) $U_L(I)$ 、 $U_o(I)$ 伏安特性曲线；
(c) $U_i(I)$ 伏安特性曲线

振电路的伏安特性 $U_o(I)$ 如图 4 (b) 所示，图 4 (c) 为输入电压的伏安特性 $U_i(I)$ ，它是由图 4 (b) 中 $U_L(I)$ 和 $U_o(I)$ 在同一电流坐标下相加得到的。由图可见，在 $U>U_p$ 内， $U_L(I)$ 较陡， $U_o(I)$ 较平坦，因而与输入电压 U_i 的变动量 ΔU_i 相对应的输出电压的变化量 ΔU_o 很小，即 $\Delta U_o\ll\Delta U_i$ 。为了克服图 4 (b) 伏安特性曲线在 $U>U_p$ 这段中的上倾，使特性曲线变得更平坦，达到进一步提高稳压精度的目的，通常是采用一线性补偿线圈 L' ，将输入电压的一部分反向叠加在输出电压上。其电路如图 5 所示。在图 5 中， $\dot{U}_o=\dot{U}'_o-\dot{U}_L$ ， U_L 正比于电流 I ，其伏安特性如图 5 (b) 所示。将 $U'_o(I)$ 和 $U_L(I)$ 在同一电流坐标下相减即可得到 $U_o(I)$ ，显然，由于补偿线圈的补偿作用，克服了输出特性的上倾，使 ΔU_o 进一步减少，稳压精度进一步提高。

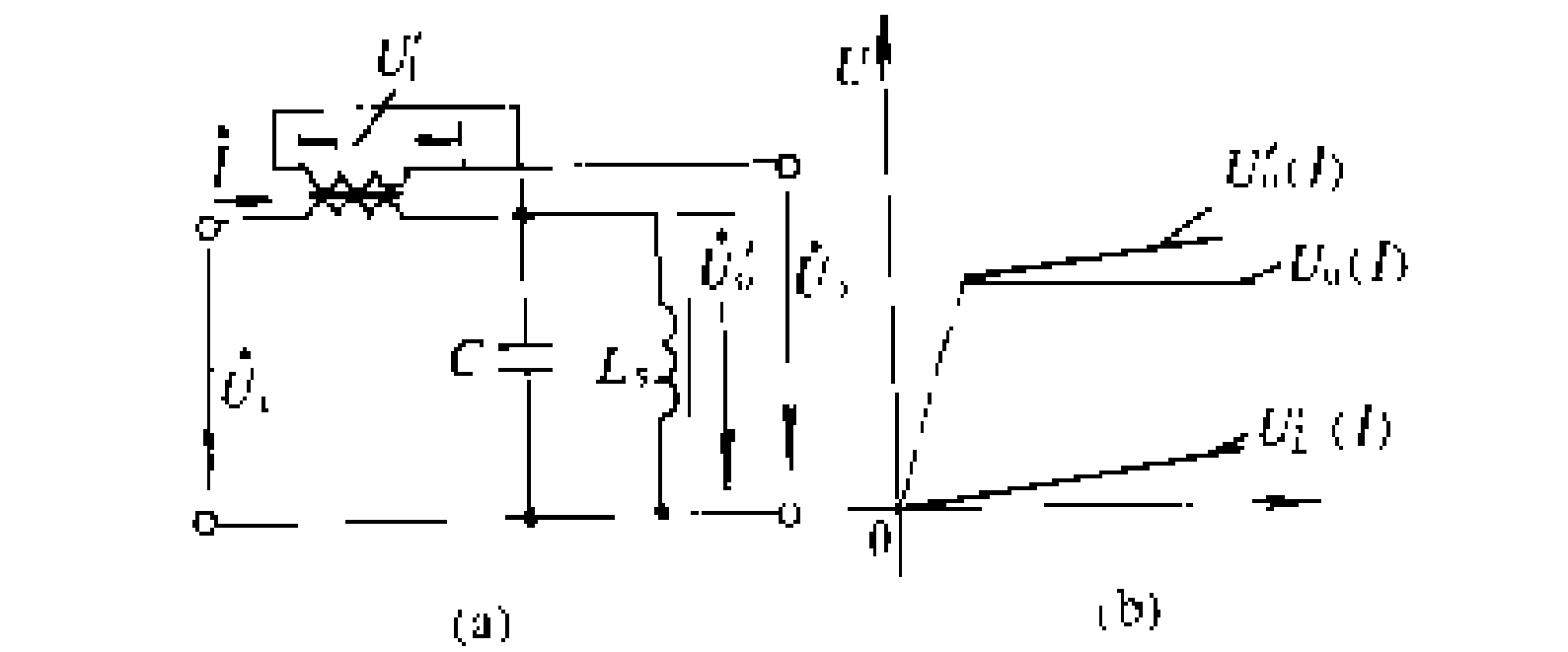


图 5 带有补偿线圈的交流稳压器原理图

(a) 电路图；(b) 输出特性

这种稳压器的结构简单，制造方便，过载能力较强，价格便宜，但是波形失真较大，稳定度不高，通常用于稳压要求不太高的场合或作预稳稳压器。

稳压变压器 (Constant Voltage Transformer, CVT) 由单一铁芯同时实现稳压和变压双重功能的电器。它在结构上类似于普通电源变压器, 所不同的是, 它具有磁分路和二次谐振回路。磁分路的作用是将输入绕组和输出绕组所在的磁路分开, 这样就使二次绕组所在铁芯由于铁磁谐振而处于饱和状态时, 一次绕组所在铁芯仍处于非饱和状态。在图 6 (a) 所示的结构上, C 型铁芯的窗孔中填塞一组用同样材料制成的磁分路铁芯, 使铁芯有两个窗口, 三条磁路, 一次绕组占一个窗口, 二次绕组与谐振绕组同占一个窗口, 谐振绕组与外接电容 C 连接, 组成谐振频率与电源频率相接近的谐振回路。由于谐振回路的作用, 二次磁路处于饱和状态, 二次绕组上的感应电动势基本不受电源电压有效值变动的影响, 从而实现稳压作用。图 6 给出了稳压电路原理图以及等效电路图。

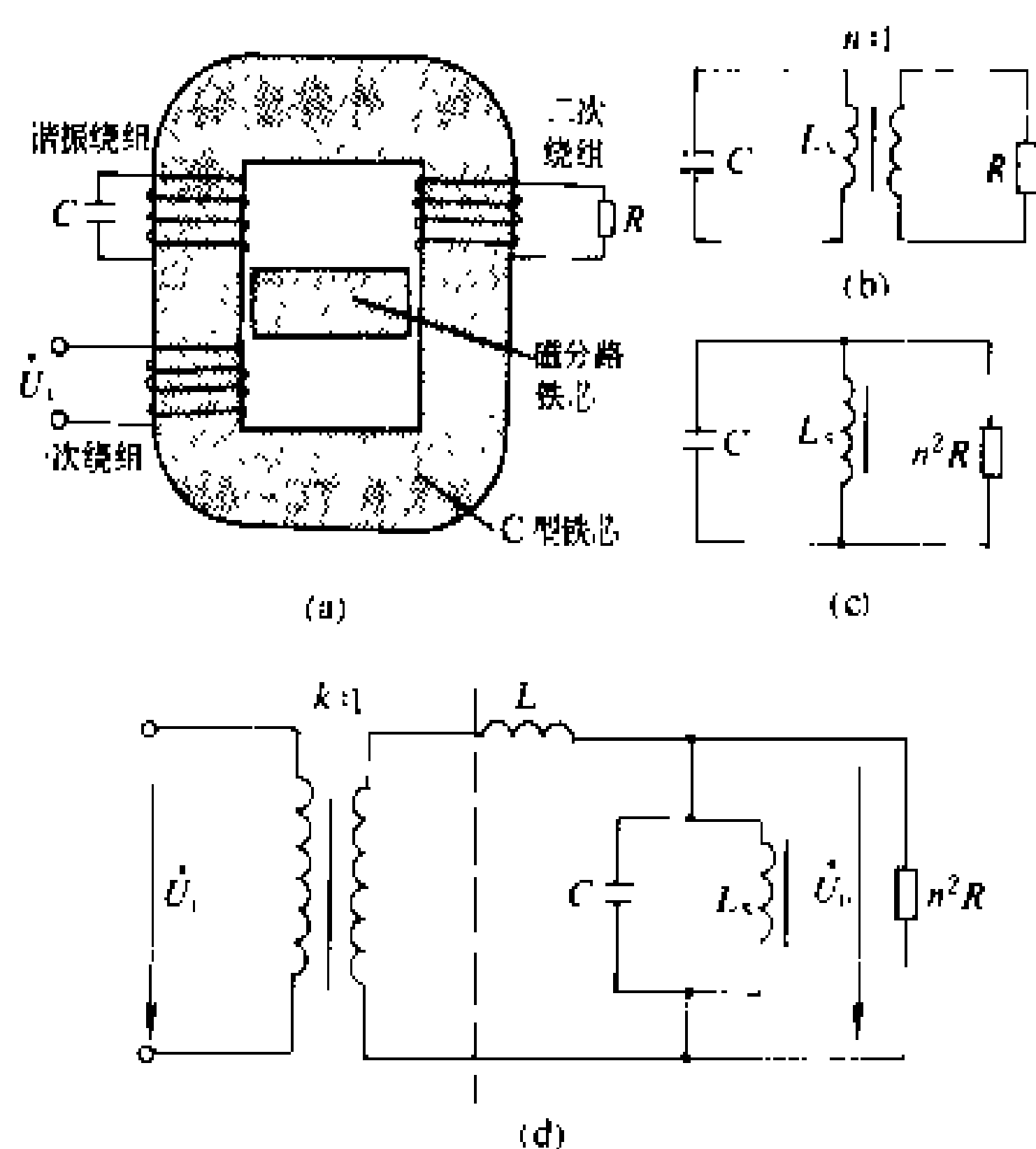


图 6 稳压变压器的原理图及等效电路图

(a) 原理图; (b) 二次的两个回路; (c) 二次等效电路;
(d) 稳压变压器等效电路

与磁饱和式稳压器一样, 稳压变压器也是利用 LC 组成铁磁谐振原理来实现稳压的, 只是它的主磁路是封闭的, 泄漏较少, 所以它对电子仪器的干扰比磁饱和式稳压器要小得多。由于它具有较大的时间常数, 故对外来冲击干扰具有一定的缓冲作用。其缺点是在电源频率变化过大时, 会影响稳压性能。小功率电子仪器所采用的简单交流稳压器, 多数都是稳压变压器。

磁放大器式稳压器 利用电子线路改变磁放大器的阻抗以稳定交流输出电压的电器。图 7 为磁放大器式稳压器的原理框图。

磁放大器式稳压器主要由两部分组成: 第一部分为直流控制回路, 由采样电路、基准电压、比较电路和直流放大器组成。第二部分为交流调整电路, 由磁放大

器和变压器 T 串联组成。磁放大器是具有非线性特性的铁磁材料制成的铁芯, 并受交流电流和直流电流同时励磁以进行电量变换的电器。在直流绕组上只要有微弱的直流励磁电流 (控制电流) 变化, 就能在其交流绕组上引起较大的交流励磁电流的变化, 此即磁放大器的放大作用。在磁放大器中, 当控制电流 I_D 增大时, 其交流绕组中的电流有效值 I_o 将随之增大; 交流绕组的等值感抗 X_o 将随之减少, 反之亦然。因此, 磁放大器交流绕组和变压器一次绕组相串联可实现交流输出电压的自动调整, 从而达到稳定输出电压的目的。

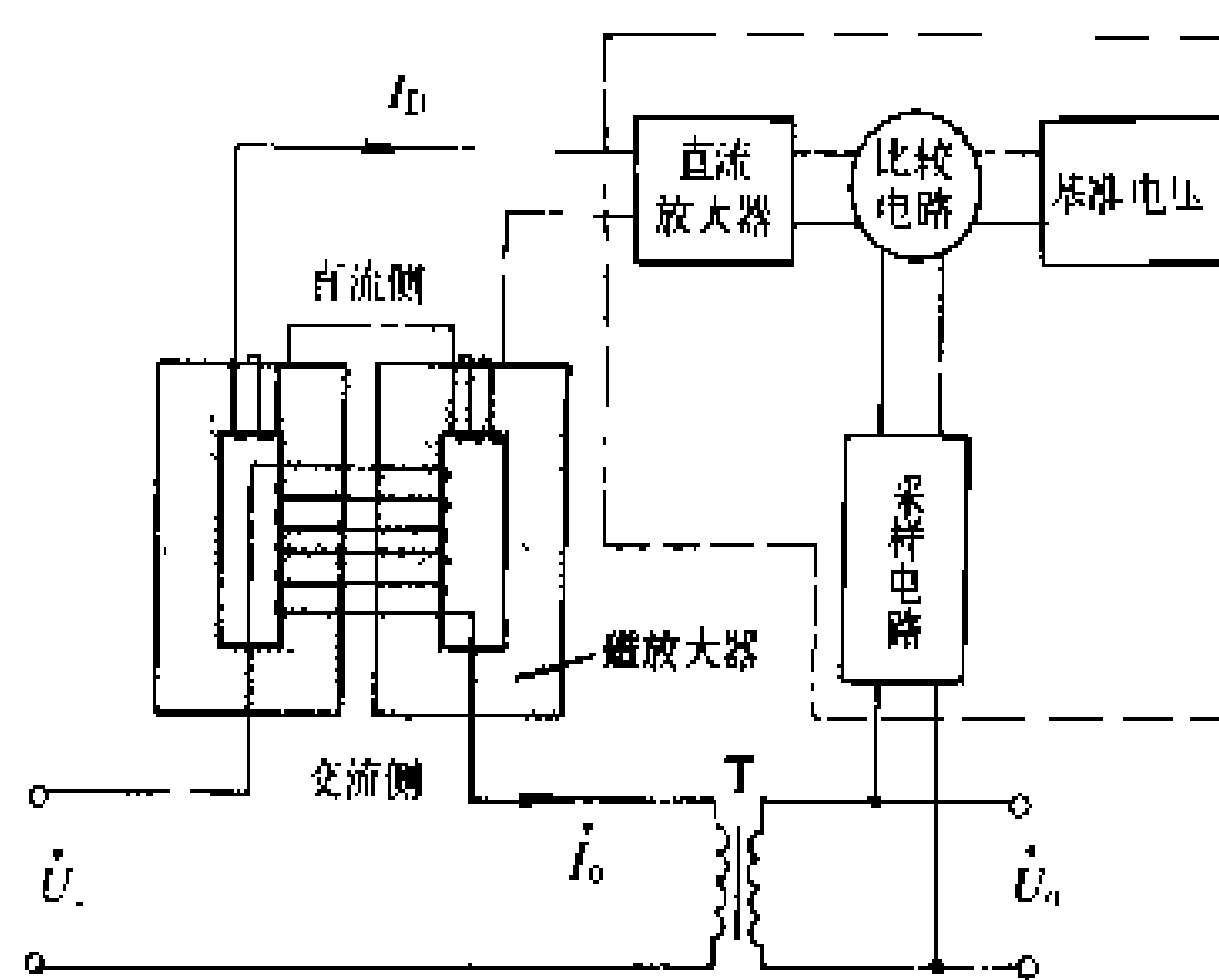


图 7 磁放大器式稳压器的原理框图

磁放大器式稳压器中的直流控制回路最早用电子管组成, 以后又把电子管改为晶体管。在 20 世纪 80 年代, 又以集成电路来代替晶体管组成直流控制回路。

这类稳压器带有反馈控制的闭环系统, 稳定度高, 但因磁放大器的惯性大, 恢复时间长, 电路中又无滤波器, 所以抗干扰能力较差。

数控式稳压器 用逻辑元件或单片机组件构成控制电路, 按一定编码方式转换变压器抽头, 使输出电压获得稳定的电器。它具有体积小、重量轻、效率高、波形失真小等优点。

净化式稳压器 亦称正弦能量分配式稳压器。在图 8 所示原理图中, 正弦能量分配器和大功率电感相并联, 正弦能量分配器在每半周的期间内以正弦电流的形式向大功率电感输入能量。当电感上由于获得能量所产生的电压和电网

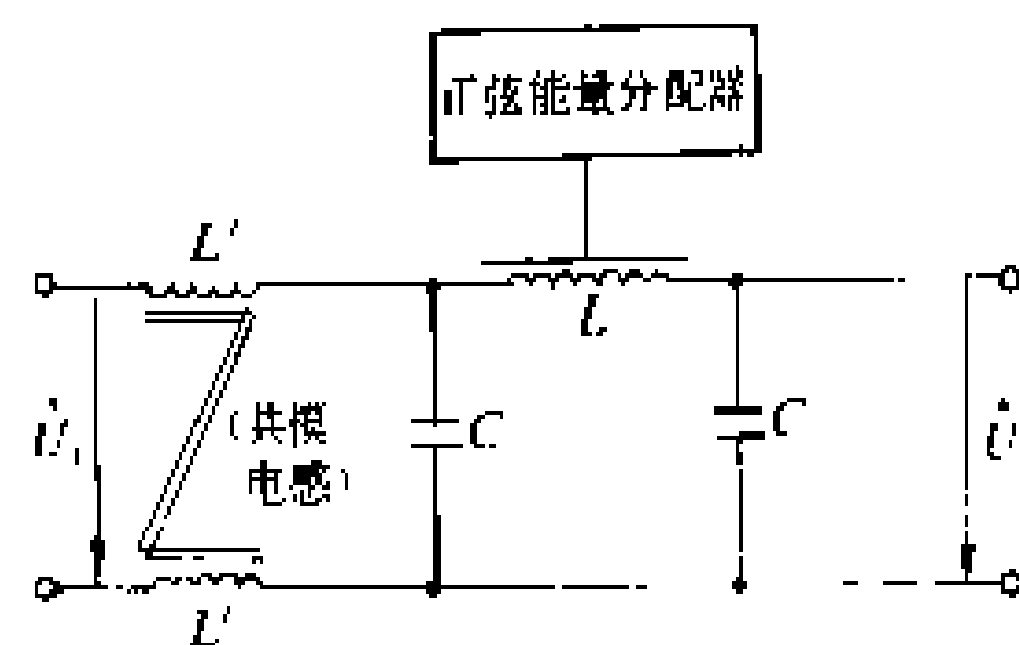


图 8 净化式稳压器原理图

电压正方向相串联时, 输出电压升高; 反之, 当电感上由于获得能量所产生的电压和电网电压反相串联时, 输出电压降低。因此, 只要根据输出电压的变化控制正弦能量分配器向电感提供能量的大小及方向即可达到稳压的目的。它的稳定度可达 $0.1\% \sim 1\%$ 。



由于这种稳压器中没有变压器,所以电网一旦出现半周失压状态时,不会在电路中造成浪涌电流,因此输出电压能在较短时间内得以恢复。净化式稳压器铁损很小,效率高达95%~97%,又由于主回路是大电感和电容组成的低通滤波器,与输入交流电压之间还串接共模电感 L' 组成的抑制共模干扰的电网滤波器,所以具有良好的抗干扰能力,常用于计算机和一些对交流干扰敏感的电子仪器中。

(叶治政)

wunel diya peidianxian anzhuang guicheng

屋内低压配电线安装规程 (installing rules of low voltage distributive line in building)

在各种建筑物内,所有交流电压在1 kV 及以下、直流电压在1500 V 及以下的用电设备、用电器具等接入电源时,对所配置的各种电气线路在安装上必须遵循的技术要求。规程的主要作用是使安装后的电气线路达到技术上安全可靠,经济上合理,日常的检查和维修方便,符合各种结构和用途的建筑物的美观要求。

1956年3月,中国国家基本建设委员会批准颁发的《建筑安装工程施工及验收暂行技术规范》中第十三篇第二章规定了屋内低压配线安装的技术要求,共分三部分:

(1) 配线的种类,即明线与暗线,其中暗线又包括金属管配线、绝缘管配线、木槽板配线及橡皮电缆配线。

(2) 各种配线的施工技术规范及使用材料的标准。

(3) 工程验收。

1975年和1978年中国国家基本建设委员会两次委托有关部门组织对1956年3月颁发的《建筑安装工程施工及验收暂行技术规范》的第十三篇——“电气安装工程篇”进行修订。原规范修订后改名为GBJ232—82《电气装置安装工程施工及验收规范》,作为国家标准于1983年10月起实行。该规范的第十三篇为“配线工程篇”。修订后的规范在配线上增加硬塑料管敷设及半硬塑料管敷设,对明配线补充了瓷夹板、瓷柱、瓷瓶等敷设的要求,对各种暗线的施工技术要求也作了很多补充。其中对各种建筑物内的配线中有关特殊场所如干燥场所、潮湿场所、高温场所、多尘场所、腐蚀场所等的含意作了明确规定。对配线之间的距离、配线与各种管道之间的距离、配线与建筑物之间的距离包括与地面的距离等也作出了规定。

对屋内低压配电线的定装,国际电工委员会(IEC)第64技术委员会于1970~1986年专门制订并多次修订颁发了《建筑物电气装置》技术标准。这个标

准在1972年的序言中规定:“……不适用于发配电装置,而只适用于工业、商业、农业及民用等建筑物”。在1976年6月的一号修正文件中稍加修改为:“本标准不是为了用于公用配电系统、发电或输电系统”,并加注说明:“有国家愿意的话,也可将全部或部分地用于上述目的。”该技术标准内容共为七篇。第一篇:适用范围、目的和定义,包括对二十五项电气术语确定的含意。其中有:电气设备、电气装置、电气回路、带电部分、外露可导电部分、装置外可导电部分、保护线、中性线、接地极、独立接地极、正常情况下的电击保护、故障情况下的电击保护、导体的载流量、过电流、过负荷电流、短路电流、故障电流、接地故障电流、电击电流、对地泄漏电流、残余电流、动作残余电流、接触电压、能同时触及的部分、伸臂范围等。第二篇:基本原则,包括保障安全的保护、设计、电气设备的选择、电气装置的安装及初次测试。第三篇:一般性能的估计,包括电源用途及结构、外界影响、共存性与可维修性等。第四篇:保障安全的保护。第五篇:设备的选择及安装。第六篇:验收。第七篇:特殊装置或场所的要求。

参考书目

国际电工委员会(IEC)标准译文集 TC—64《建筑物电气装置》IEC/TC64 国内归口委员会秘书处,1983.6

(宋泰生)

wuchudian kaiguan

无触点开关 (non-contact switch) 靠改变电路阻抗值的变化,阶跃地改变负荷电流,而完成电路通断的一种开关电器(见低压电器)。无触点开关的主要特点是没有可运动的触头部件,导通和关断时不出现电弧或火花。无触点开关分为磁放大器式无触点开关,电子管、离子管式无触点开关,半导体无触点开关。

磁放大器式无触点开关是利用磁性材料做成的。其磁放大器铁芯上绕有交流绕组和直流绕组,改变直流绕组的直流磁化电流的大小即可改变铁芯的磁导率,以使交流绕组的电抗值变化。电路中交流绕组的电抗值最大时,电路的输出电流最小;而铁芯饱和后,交流绕组的电抗值最小,则输出电流最大。此两种工作状态对应于电路的关断和导通。由于带铁芯的交流绕组电抗值不可能无穷大,所以电路在高阻状态下尚有一定的输出电流。此种无触点开关体积与重量较大,电流转换的速度慢,已较少采用。

电子管、离子管式无触点开关是利用栅极可控特性使阳极与阴极间导通或截止来控制输出电流变化的,由于电子管、离子管的功率不能做得很大,在实际



应用中受到了很大的限制，也已较少使用。

半导体无触点开关是借电路中半导体器件的可控导通性来实现电路通断的一种开关电器。它是 20 世纪 50 年代后发展起来的一种开关，可用晶体管或晶闸管组成，由于晶体管受到功率的限制，大都采用晶闸管及其控制电路组成。半导体无触点开关的优点是：电流可以做得较大，耐反压值高，控制门极功耗小，导通和关断时间短，工作寿命长，环境适应性好，工作效率高等。例如，对有触点的接触器，操作频率高于 3600 次/h 以上时就很困难了，但对半导体式无触点开关则操作频率可达数万次至数十万次以上每小时。半导体无触点开关的缺点是：电流大时，功耗较大，需加用散热器或用风冷或水冷方法降低结温，从而增加了器件的尺寸与重量。为此出现了混合式半导体无触点开关，如混合式半导体接触器（hybrid semiconductor contactor）就是用有触点开关与无触点开关并联组成的，电路的通断由无触点开关的半导体器件完成，而导通后的电流主要是从有触点开关流过，从而克服了上述缺点。

（方鸿发）

wugui dianche

无轨电车（trolley bus）由架空接触导线供给直流电源，驱动牵引电动机，在道路上行驶的城市公共电车。无轨电车具有加速快、噪声低、无废气污染、舒适性好、操作简便等优点，但受架空接触导线约束，机动性差。

简史 无轨电车由德国人 E. W. 西门子（Ernst Werner von Siemens）发明。1882 年出现在柏林的早期的无轨电车，形似轮式马车，车厢及轮轴均为木结构，采用实心橡胶轮胎和直接控制系统，受流装置由滑轮或滑块及电缆组成，并与两条架空导线相接形成回路，1911 年开始在英国应用。30 年代由于能源影响，无轨电车曾在世界上得到广泛应用，发展很快。40 年代意大利发展了铰接式无轨电车，英国制造了双层无轨电车。50 年代中期世界上约有 500 个城市运用无轨电车，发展达到顶峰。跨入 60 年代，大型柴油公共汽车的发展，致使无轨电车在城市公共交通系统中的地位逐步下降，有些城市的无轨电车为公共汽车替代而相继停驶。但在苏联、瑞士及一些欧洲国家仍然得到发展。1985 年，苏联尚有 141 个城市拥有无轨电车，其中莫斯科市有无轨电车 2350 辆，75 条线路，总长达 718 km。70 年代，由于石油危机及汽车废气污染，使一些工业发达的国家重新重视无轨电车。研制出的新型无轨电车，利用车上加装柴油机或蓄电池作为辅助动力，又称为复合动力的无轨电车。它可离开架空导线

行驶。其新型的受流装置可以自动控制与架空导线的接通与断开，从而可取消在繁华路口上的架空导线，提高无轨电车的机动性。

结构 无轨电车除动力装置外，还包括底盘、车厢和内部设备（如车门、座位、侧窗以及附属设备等）。无轨电车的集电装置安装在车顶上，通过滑轮或滑块分别与两条架空导线相接，形成回路，输入电能。动力装置一般采用直流串励式或复励式牵引电动机。

原理 无轨电车传统的起动与调速是用接触器分级短路电阻器的方法来限制起动电流。该电阻器与电动机串联连接，这种结构简单的控制装置的主要缺点是起动电阻上的损耗较大、效率低、不经济。自晶闸管半导体器件问世以来，利用晶闸管的开关作用，即以电压脉冲形式来调节加在无轨电车牵引电动机上的端电压，因无起动电阻，故在节能上有显著效果；可采用电阻制动，在牵引及制动时，运行平稳，改善供电质量且操作简便等。近年来，中国的无轨电车已经推广采用斩波技术调压控制（见斩波控制直流调速）。芬兰的无轨电车采用了交流电动机驱动，同时利用斩波器控制牵引和再生制动，可节能 21%~27%。交流电动机与直流电动机相比，具有坚固、结构简单、重量轻、效率高、价格便宜、维修简便等优点。

（高福崑）

wuhuanxiangqi dianji tiaosu

无换向器电机调速（speed control of brushless electronically-commutated motor）

采用位置检测器对变频器进行自同步控制实现同步电动机调速的技术。图 1 为无换向器电机调速的原理框图，图 1(a)为直流-交流变频器（包括交流-直流-交流变频器）供电的无换向器电机调速，又称直流

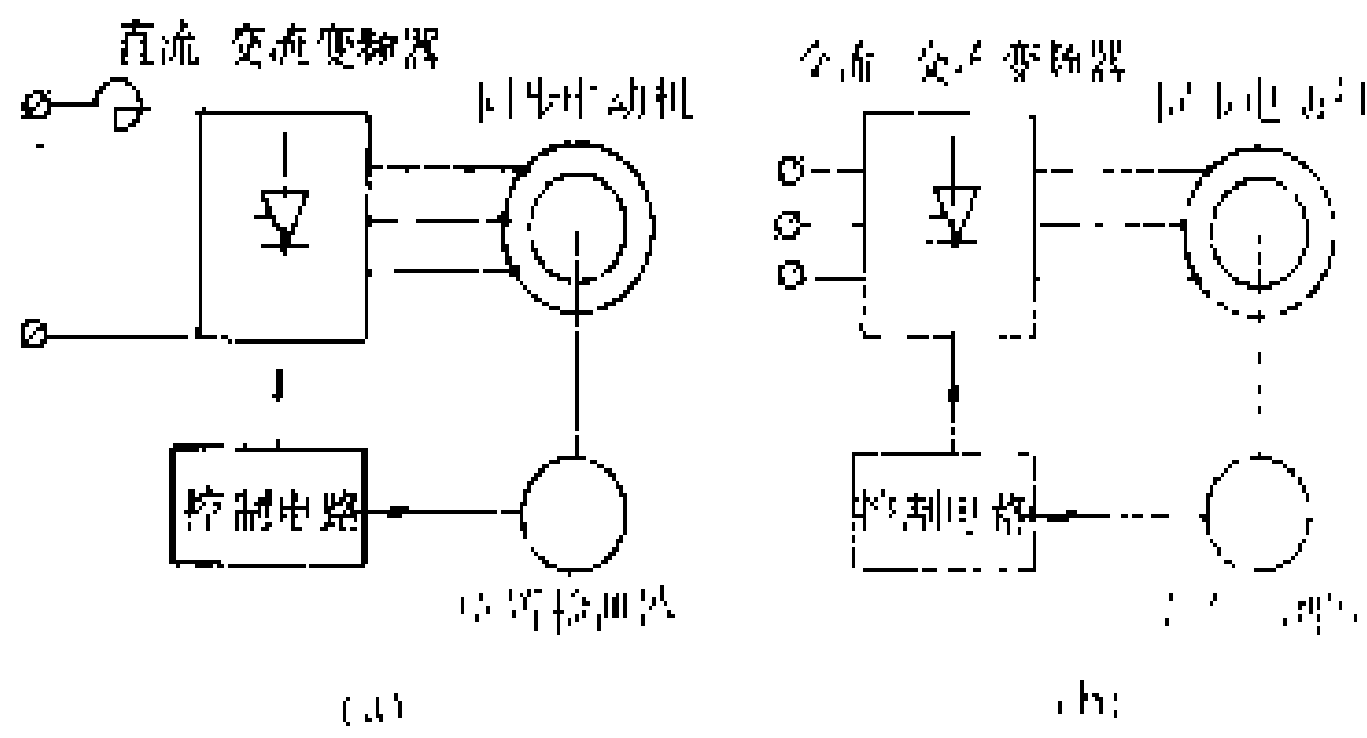


图 1 无换向器电机调速原理图
(a) 直流式；(b) 交流式

式无换向器电机调速；图 1 (b) 为交流-交流变频器供电的无换向器电机调速，又称交流式无换向器电机调速。所谓自同步控制，系利用装在转子上的位置检测器使逆变器的晶闸管按一定顺序触发，晶闸管导通的控制决定于位置检测器的输出信号，即决定于转子位置。导通的变化频率（变频器输出频率）由电机本身的转速

决定, 定子电流建立的磁通势的旋转速度完全与转子转速同步, 因而称自同步控制。

工作原理 无换向器电机的工作原理, 可以由一台简单的直流电机模型加以说明。如图 2 所示, 该直流电机的电枢安放有三相对称绕组, 各相绕组首端分别接至换向器上的三个换向片中的一片, 末端连在一起, 在几何中性线上安放一对电刷。如果将直流电流经电刷引入电枢绕组, 则三相绕组中某两相绕组将有电流流过 [图 2 (a) 为 A、C 相绕组, 图 2 (b) 为 B、C 相绕组], 并建立相应的电枢磁场, 该磁场与主极磁场作用而产生电磁转矩。与普通直流电机相比, 无换向器电机的换向片少, 绕组中电流的换向要间隔 60° , 在这段

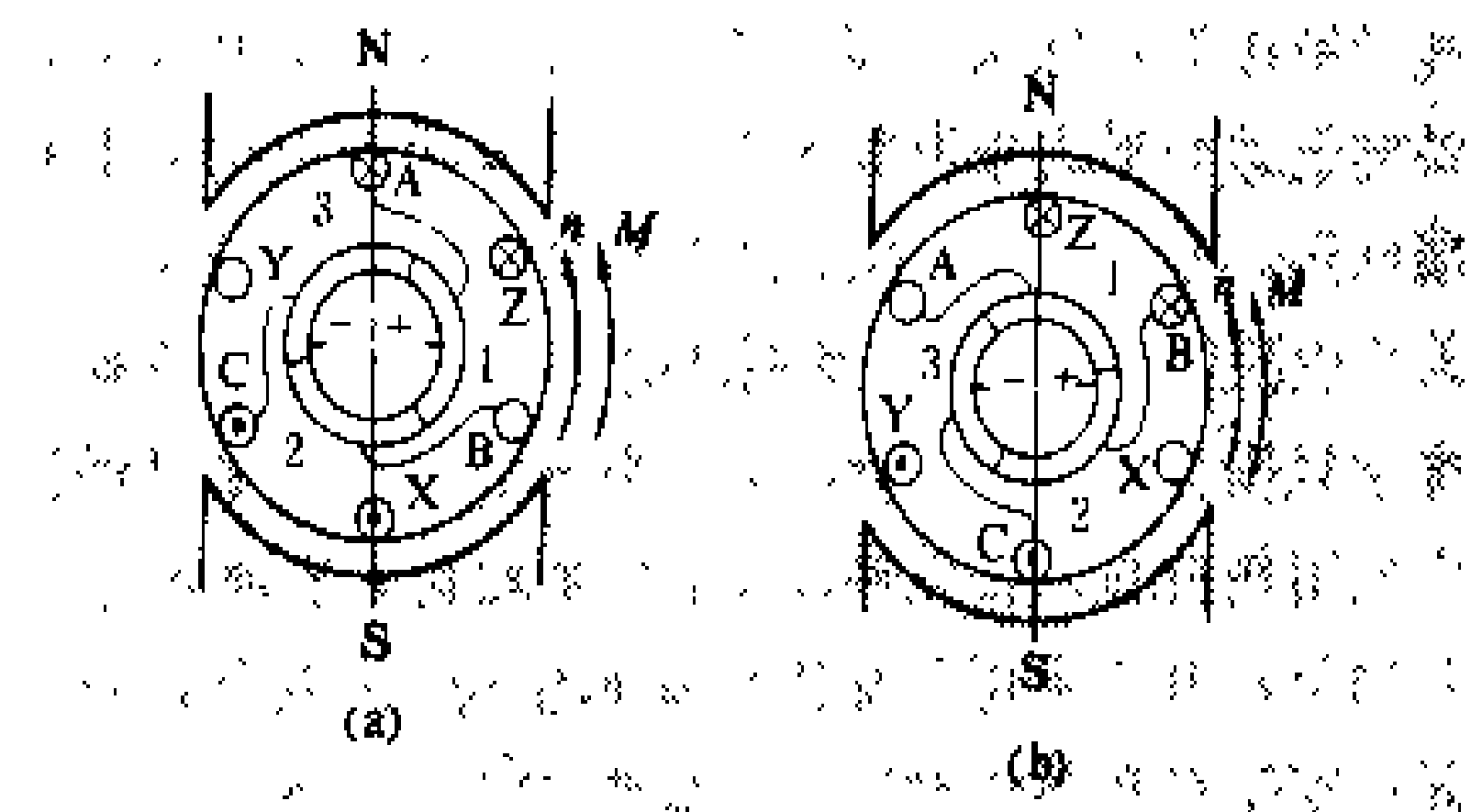


图 2 无换向器电动机的简单直流电机模型

(a) A、C 相绕组; (b) B、C 相绕组

时间内绕组中电流产生的磁场将随着电枢旋转而转动, 与主极磁场间的相角差不是 90° , 但其中间位置与主极磁场间仍相差 90° , 与普通直流电机中电枢磁场与主极磁场相差 90° 类似。图 3 所示为无换向器电机的工作原理图, 图中的逆变器相当于换向片, 它通常为六只晶闸管组成的三相逆变器; 安装在转子上的位置检测器相当于电刷, 担负着向逆变器提供触发信号的任务。但无换向器电机的三相绕组在定子上, 主极在转子上。如转子旋转 $1/p$ 转, 位置检测器能发出三个相位互差 120° 的 180° 方波信号, 通过逻辑电路形成六只晶闸管的触发脉冲, 使晶闸管按次序并且每隔 60° 换流一次, 从而使三相绕组中的两相绕组交替地接通电源。三相绕组中电流变化的频率由位置检测器发出的脉冲频率决定, 即由转子转速决定, 因而定子旋转磁场完全与转

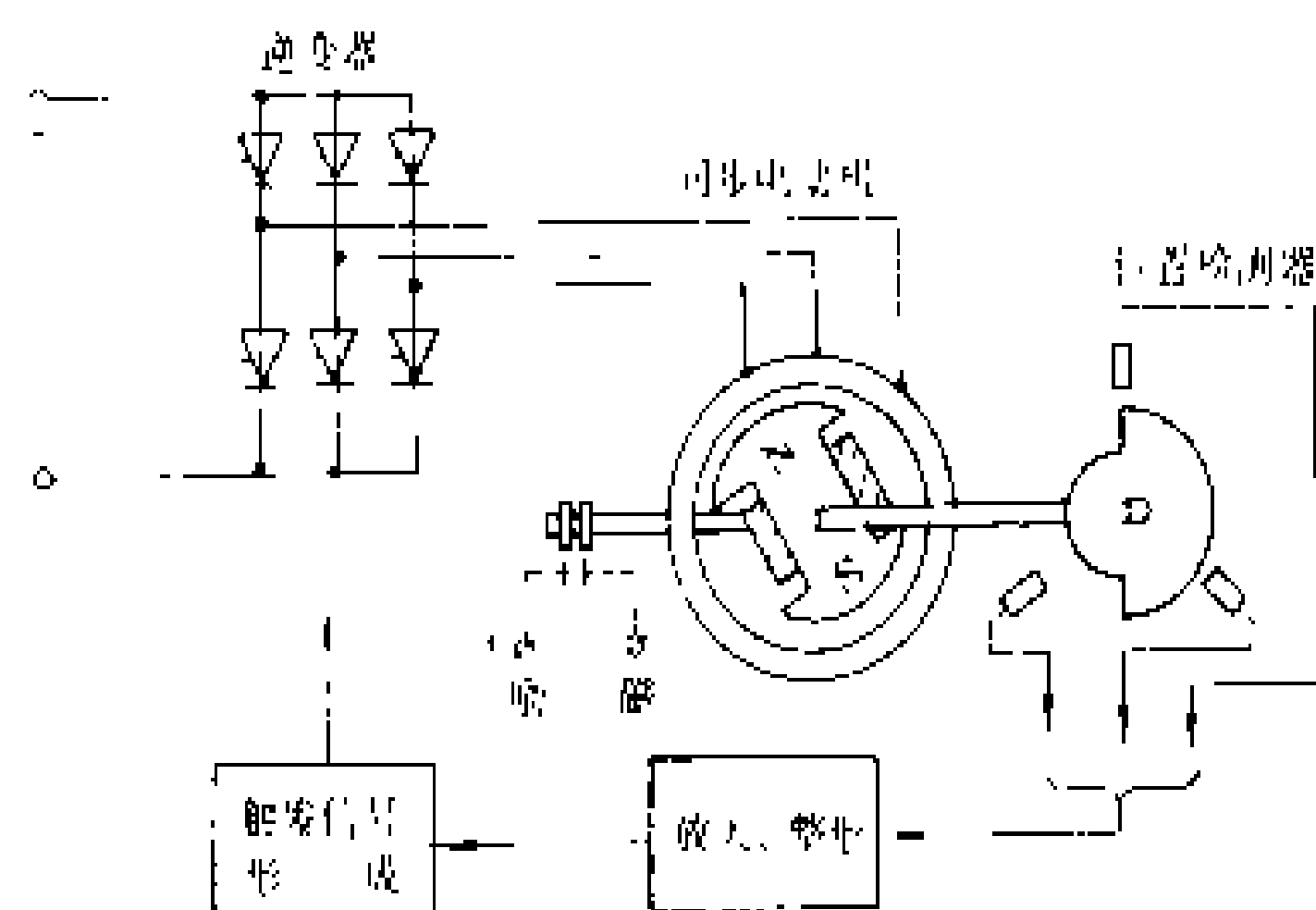


图 3 无换向器电动机的工作原理

子磁场同步, 故为自同步控制频率调节。如果空载换流超前角 γ (基波相电流超前基波空载相电压的时间相角) 正好是使电磁转矩最大时的角度, 则相当于直流电机的电刷处于几何中性线上。因此对直流式无换向器电机, 从电源的直流侧来看, 逆变器、同步电动机和位置检测器相当于一台直流电动机。对交流式无换向器电机, 可认为直流环节的直流电压和电流, 均为等值直流电压和电流, 等值的逆变器及位置检测器起到了换向器的作用。无换向器电机转速特性与直流电动机的转速特性非常相似, 可以通过改变电源电压、改变每极磁通、改变换流超前角 (相当于改变直流电动机的电刷位置) 实现调速, 但采用后两种方法较困难。第一种方法是常用的方法, 可以通过改变整流桥的延迟角来实现。无换向器的机械特性与直流电动机的机械特性也非常相似, 其机械特性的硬度较直流电动机特性稍软, 虽然如此, 一般无换向器电动机在开环控制时, 调速范围也可达 $(10:1) \sim (20:1)$ 。

变频器 无换向器电机调速的变频器, 一般有交流-直流-交流电压型变频器、交流-交流电压型变频器、交流-交流电压型变频器三种。交流-直流-交流电压型变频器和交流-交流电压型变频器是依靠电机定子绕组反电动势自然换流, 因而过载能力小。当然, 当电动机起动或低速运行时, 电机反电动势太小, 不可能实现自然换流。这时交流-直流-交流系统常采用断续换流法, 即将整流侧的控制角推入逆变状态, 逆变器的输入电流迅速下降至零, 晶闸管中电流小于维持电流后自行关断。交流-交流系统常采用电源电压换流法 (见变频调速)。交流-交流电压型变频器则完全采用电源电压换流法, 过载能力较大。就输出频率而言, 交流-直流-交流电压型变频器的输出频率不受限制, 交流-交流电压型变频器可为 $0 \sim 2$ 倍电源频率, 交流-交流电压型变频器只能在 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ 电源频率以下。除此之外, 三种变频器在电流波形、变换效率、电动机或电源的功率因数等方面, 都有一定的差异。

运行方式 无换向器电机具有和直流电动机一样的良好调速性能, 可以方便地实现四象限运行。设电动机处于正转运行, 就直流式无换向器电机的逆变器而言, 当换流超前角 (基波相电流超前基波相电压的时间相角, 即负载时的实际换流超前角) 小于 90° 时, 逆变器工作在逆变状态, 此时电动机产生的平均转矩为正, 即电动机处于电动工作状态, 功率传递方向是经逆变器向电动机方向传递; 当逆变器的换流超前角等于 90° 时, 逆变器工作在既不逆变也不整流的临界状态, 电动机的平均转矩为零, 处于理想空载状态, 此时不传递功率。当逆变器工作在大于 90° 时, 逆变器工作在整流状

态,电动机的平均转矩为负,电动机转向来不及变化时,电动机处于再生发电制动工作状态,功率由电动机经逆变器向电网方向传递。如果电动机处于反转运行,则6只晶闸管的导通顺序也相反,使电机定子旋转磁场反向。由于反转时的相电动势与正转时的相电动势反相位,其换流超前角为 180° 与正转时换流超前角之差,则反转电动工作状态对应的换流超前角应大于 90° ,发电制动工作状态对应的换流超前角应小于 90° 。变频器的整流器必须与逆变器协调控制,当逆变器工作在逆变状态,整流器必须工作在整流状态;当逆变器工作在整流状态,整流器必须工作在逆变状态。就交流式无换向器电机而言,应在一次变换中完成上述二次变换的过程,即是由移相触发控制角和换流超前角综合决定的电动机运行方式。

控制系统 以交流-直流-交流电流型无换向器电机为例,图4为其双闭环控制系统框图。图中各环节对不同的运行方式处于不同的状态,现以电动机正转减速说明其工作过程。设电动机原来运行于能借助反电动势换流的高转速,现施加减速信号,ST将输出负信号,SE输出端为“1”态(对应 $-\Delta n$ 及正向转动),MG输出端为“1”态(对应制动方式),OCS转变为“正高制”(正向转动、高速、制动),使 γ_0 控制空载换流超前角为 120° (即大于 90° 的正向制动工作状态),通过IF触发逆变器,使电动机减速。如果要继续减速到

动),逆变器换流由反电动势自然换流改为断续换流,电动机继续制动运行,当转速降低至略低于给定值,SR输出端恢复正信号,OCS转变为“正低电”(正向转动、低速、电动),电动机在正向低速下作电动运行,最后稳定在所设给定值及负载下。如果正向减速一直到零,则OSC一直处于“正低制”状态,直到电动机完全停止为止。

交流-交流-直接变频无换向器电机调速,其控制信号一个来自位置检测器,一个来自电源侧的相位触发器。位置检测器决定应该工作的元件组,移相信号决定某组内哪个元件导通。为此,上述两种信号通常用一个与门逻辑电路加以综合,以决定某时刻哪个晶闸管导通,从而保证要求的电动机运行方式。除上述控制系统外,还有换流超前角和励磁电流自动控制系统,带d、q轴电枢电流控制的交流-交流电压型系统,矢量变换控制系统等。

应用 无换向器电机调速不存在失步问题,容易实现四象限运行,具有直流电机那样优良的调速与控制性能,同时无换向器电机本身又具有交流电机的结构简单坚固、运行可靠、维护方便等优点,故特别适用于高转速、大容量以及恶劣环境等场合。如应用于风机、泵、挤压机等单独可变速传动系统,造纸机、卷绕机、加工机、延伸机等有两台以上电动机的复式控制传动系统。除上述一般的调速传动外,还可将无换向器电机原理用于蓄能电站发电电动机组及大型同步电动机的起动装置,即装设一套变频装置,与待起动的同步电动机构成一台无换向器电机,采用无换向器电机的起动方法进行起动,完全避免了同步电动机利用阻尼绕组起动时对电网所产生的冲击;同时起动装置的容量仅为被起动机组的额定功率的 $5\% \sim 7\%$,从而减少了起动装置的容量,对装置便于维护;也可用于变频电源,借调节无换向器电动机的转速,改变自控变频器的输出频率和电压,用以供给其他交流异步电动机,实现转速的协调运行。无换向器电机调速在应用中还存在着提高过载能力、多台速度协调运行时增大可变频率等问题。但作为一种趋势,它必将日益广泛应用于电力拖动中。

(施传立)

wuxiandian dianli fuhe kongzhi zhuangzhi
无线电电力负荷控制装置 (radio control system for electrical load) 用特高频信号,以空间电磁波作为传送通道,对用户电力负荷进行监控的集中型电力负荷控制装置(见电力负荷控制装置)。它是国际通用的用电负荷管理的技术手段之一。它由中央控制机、无线电信道和装于用户处的监控终

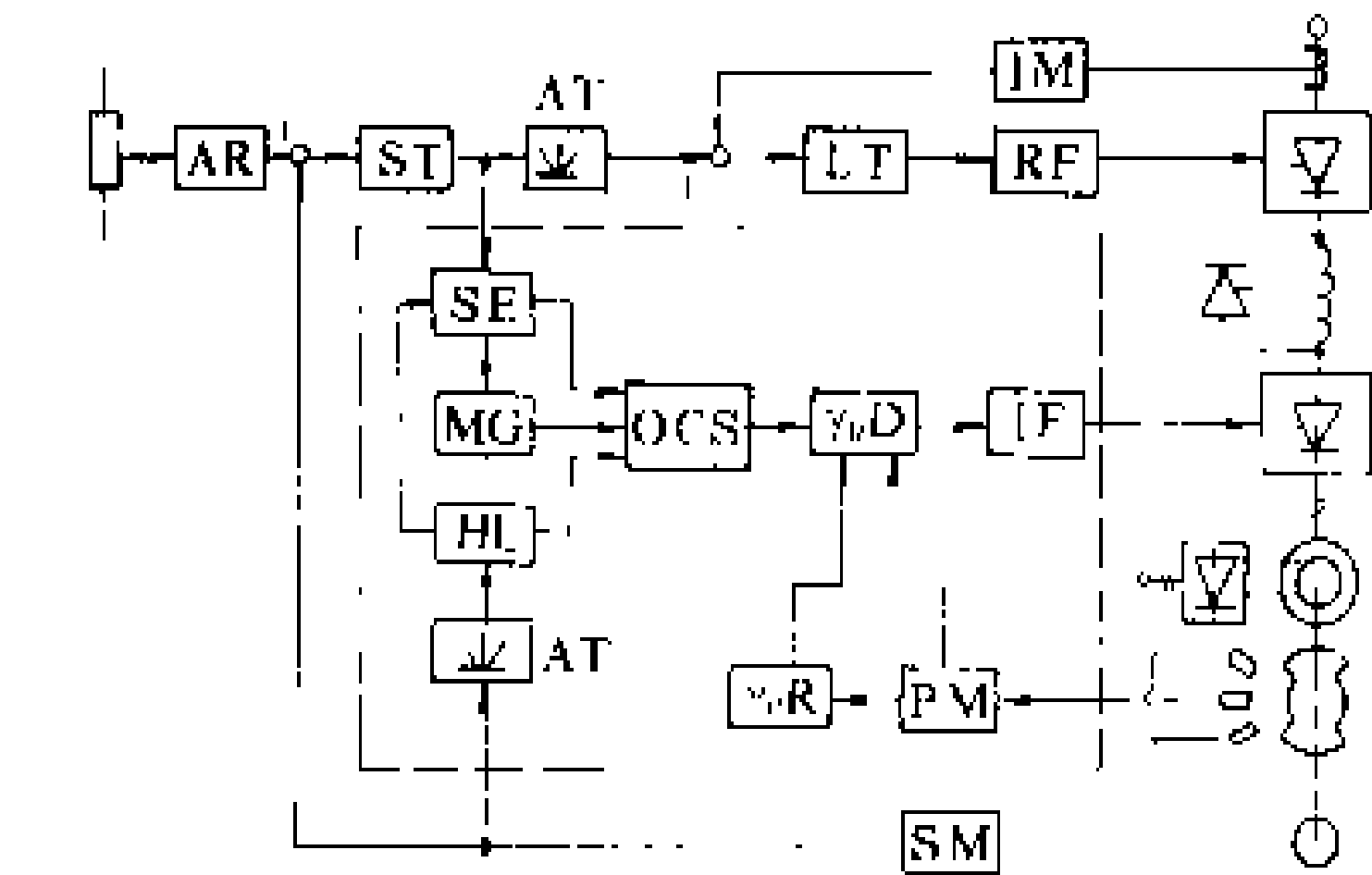
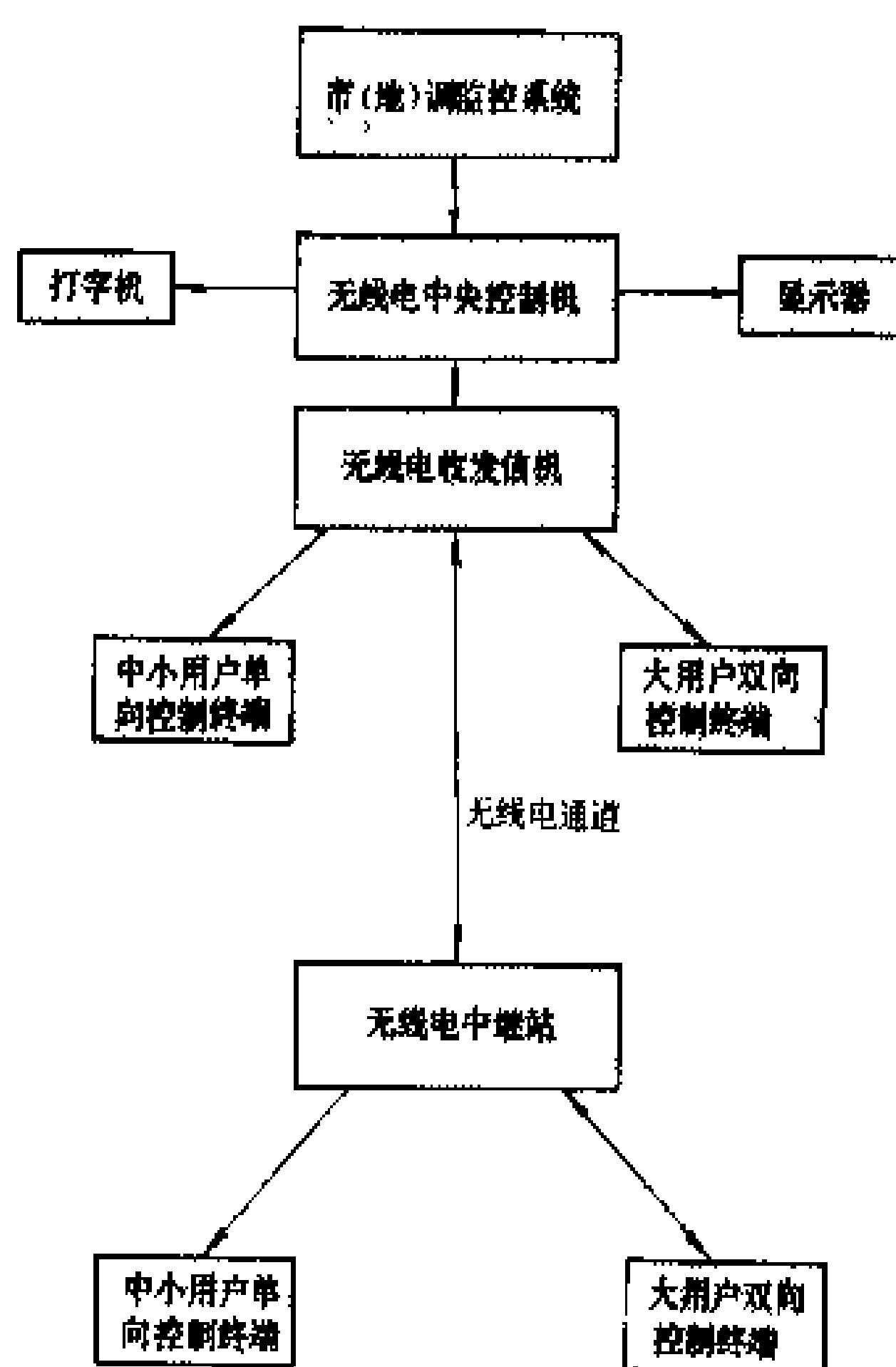


图4 交流-直流-交流电流型无换向器电机控制系统框图
AR—给定积分器;ST—转速调节器;AT—绝对值变换器;IM—电流检测环节;LT—电流调节器;RF—整流移相触发器;SE—转速差及正、反转状态检测环节;MG—电、制动检测环节;HL—高、低速检测环节;OCS—运转状态合成环节; $\gamma_0 D$ — γ_0 脉冲分配器;IF—逆变触发器; $\gamma_0 R$ — γ_0 自动调节器;PM—位置检测器;SM—转速检测环节
低速甚至零速时,当电动机按上述过程减速到反电动势换流的最低整定速度(高、低速的界限)时,HL输出端变为“1”态(低速),因MG输出端为“1”态(制动),OCS转变为“正低制”(正向转动、低速、制

端组成。

中央控制机由微型计算机和无线电收发机(数传机)组成。在用户处安装的监控终端有单向或双向控制终端机。单向控制终端机适用于较小用户,它根据中央控制机发出的命令(电磁信号)控制各种电气设备或线路。双向控制终端机适用于较大用户。它由收发信机、数据采集系统和控制回路组成。中央控制机定时发出巡检命令,循序采集装有双向控制终端机用户的用电量、有功电力、无功电力等数据,统计分析实时用电情况,对超过分配用电指标的用户,及时发出告警命令,提醒其及时调整用电负荷,如未按规定的时间将用电负荷调整到用电指标之内,中央控制机发令切除其全部或部分用电设备。另外,在电力系统故障需紧急限电时,中央控制机可直接发令切除其全部或部分用电设备。其控制系统框图见图。



无线电电力负荷控制装置控制系统框图

无线电电力负荷控制装置在国际上通常用于控制定时低电价供电的电热水器、空调器、农田排灌等的供电时间,操作补偿电容器,切换分时计量电能表等。在中国主要用于执行计划用电的集中监控。其优点是发射端设备轻便,容易实现双向控制,通道不与强电系统耦合,运行方便;与音频电力负荷控制装置比较,其可靠性较低。

无线电电力负荷控制装置是20世纪70年代在美国发展起来的。中国在1982年由上海无线电24厂与江苏省南通供电局合作在江苏省启东县设计安装了第一代无线电电力负荷控制装置。它包括一台中央控制机和由中央控制机控制的300多个单向控制终端机。

结合计划用电需要研制的包括多种类型终端的无线电电力负荷监控系统已在中国得到广泛应用。

(曲涛 顾嘉果)

wuyingdeng

无影灯 (shadowless lamp) 供医院手术室中局部手术范围照明用的无阴影特种照明灯。无影灯的技术条件和主要性能如下。

(1) 照度: 由于手术室是进行精细视觉工作的场所,按照明标准要求,在直径约为30 cm的手术范围内的局部照明的照度应在20000 lx以上。为此,需要无影灯提供很高的照度水平,通常在20000~100000 lx之间,而且所提供的照度应当是可调节的。根据这一条件,无影灯必须使用多个高亮度,并配置高效反光器的混合照明。为了减小整个灯的体积和有效地控制光束的分布,需使用体积小的点光源,如卤钨灯等。

(2) 照明的范围: 光束范围的直径约为10~25 cm,且根据不同的手术要求,灯的光束范围应设计为可调节的。

(3) 配光: 无影灯的配光要均匀,光源的显色性好,在手术的工作面上不能出现光斑,工作面上的垂直照度不得低于水平照度的50%。

(4) 减少热量: 为了减少高照度照明所产生的热量对手术创伤而的影响,要求尽量减除包含在照明光线中的红外辐射。为此,一般采用能透过红外辐射反射可见光的冷反光器和在灯的发光口附设隔红外辐射的耐高温玻璃,以达到将热量隔除和排掉的目的。

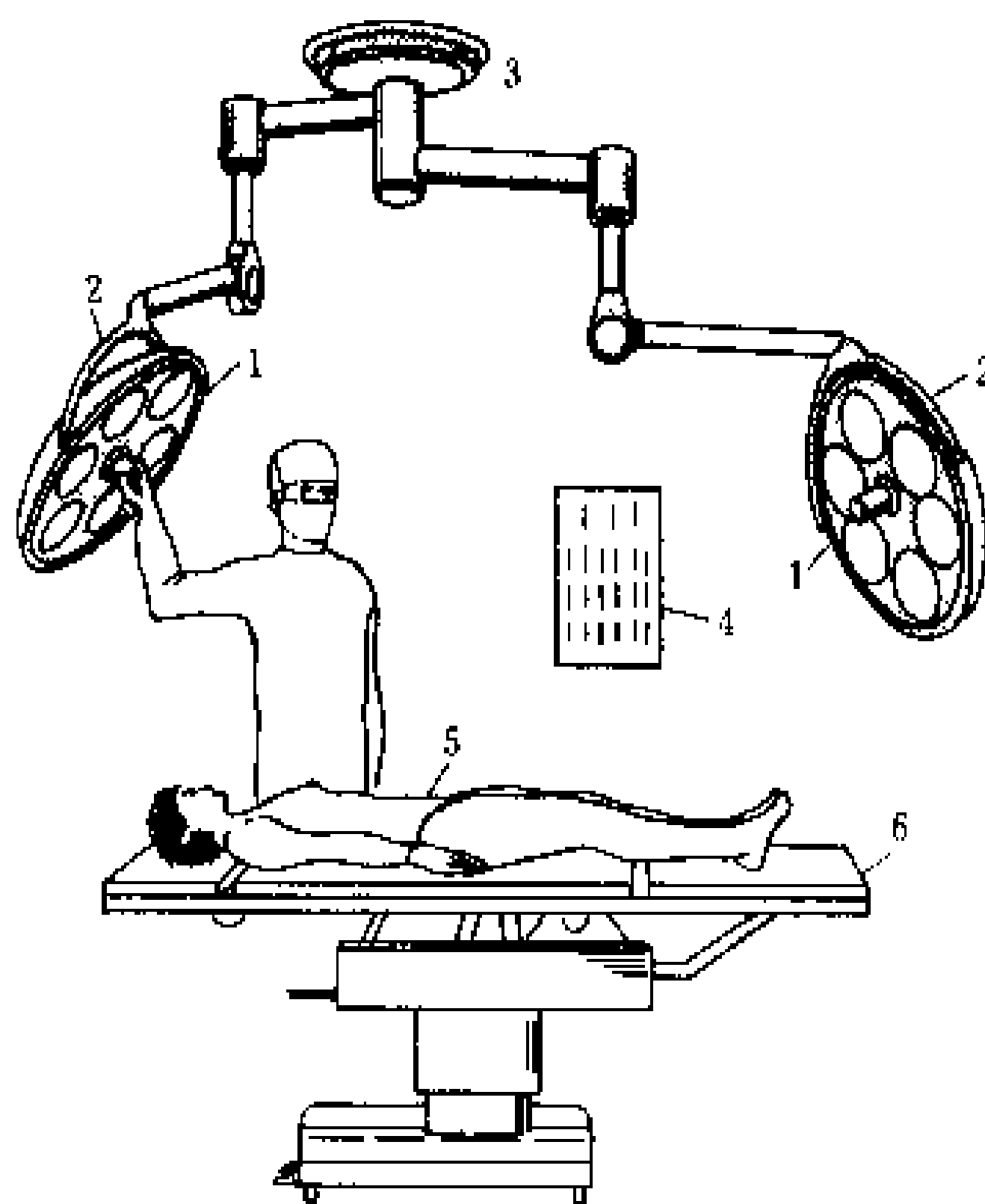


图1 固定在顶棚上的2×6无影灯
1—灯具; 2—灯架; 3—固定盘; 4—电源控制箱;
5—照射区

(5) 无阴影：为了在不同的位置和角度均能准确而迅速地施行手术，在手术工作面上要做到无阴影，同时还要求照明光束具有一定程度的聚焦深度（通常在 15 cm 以上），照明的位置和方向要便于操作和调节。

(6) 安全：为了确保安全，所用光源的灯丝应具有两组。一组正常工作时使用，接在普通供电电源上；另一组为备用，接在蓄电池上。当正常供电中断时，可迅速将电源切换到蓄电池电源上。

(7) 安装布置：胸部外科手术使用的无影灯的照度在 60000~100000 lx 范围内较为适宜。对于无菌手术室，为了使无影灯不致扰乱室内通气的气流组织，有的用嵌入顶棚的固定式无影灯或露出顶棚的转动式无影灯。鉴于无影灯布置在手术室的顶棚上，一般都设置 X 光装置和无菌设备的排气装置，而

这些设备占据了 1/2 以上的顶棚表面，且位置又是在手术台的上方，所以需要综合考虑照明器与空气调节设备发生的矛盾，确定最佳的无影灯的结构与布置方案。图 1 为固定在顶棚上的 2 × 6 无影灯示例。图 2 为无影灯光束设计示意。

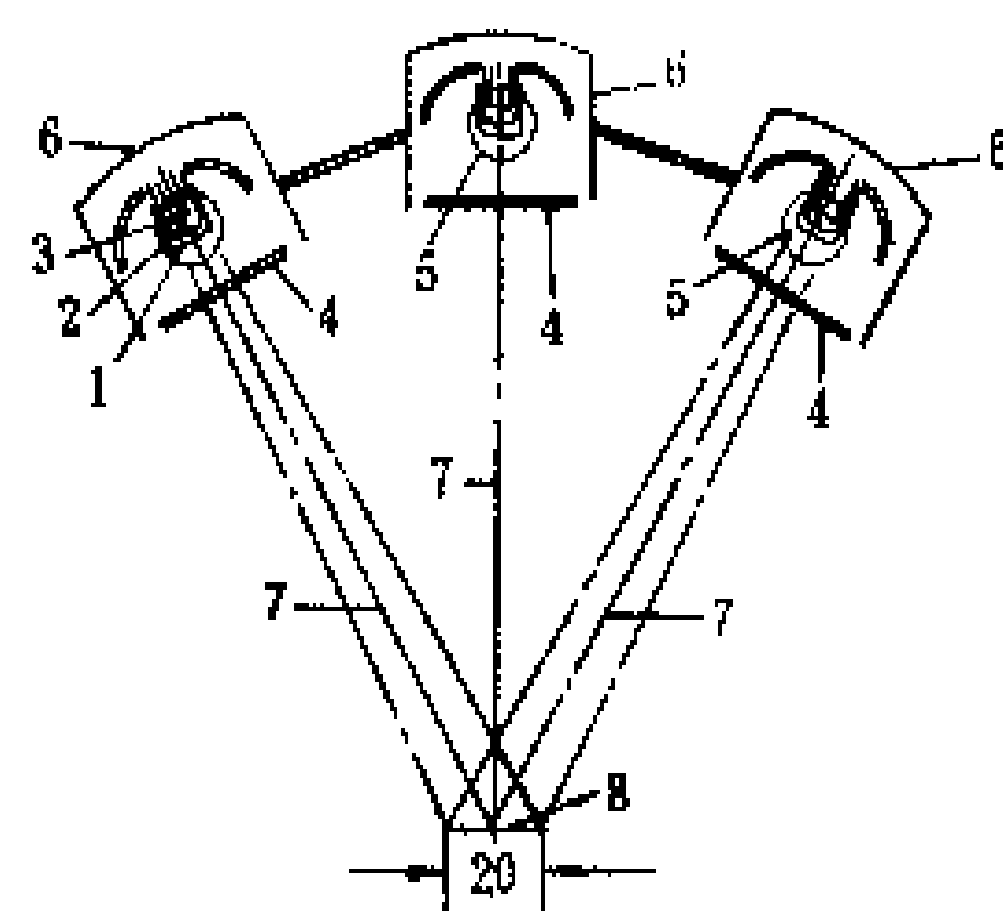
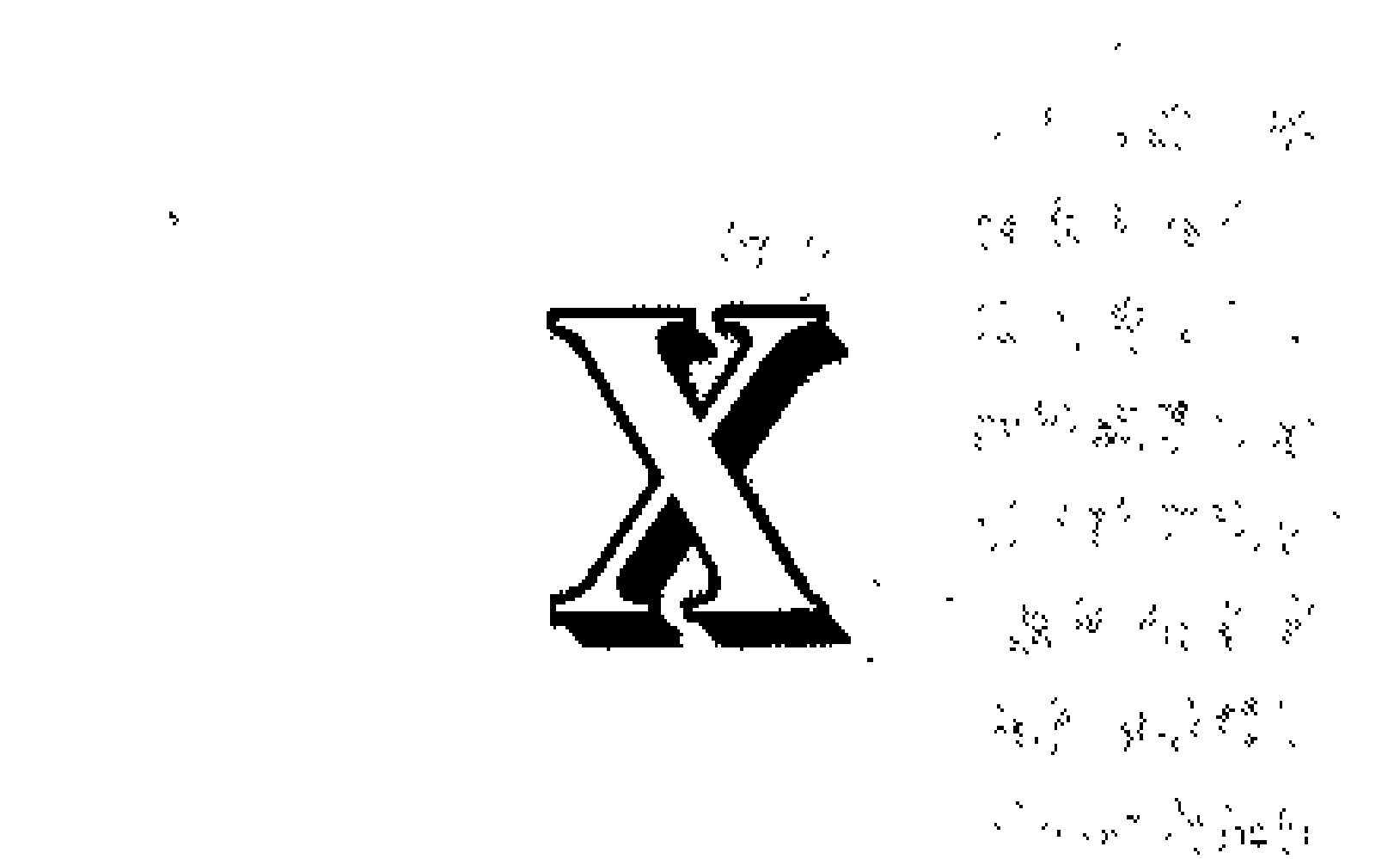


图 2 无影灯光束设计示意
1~3—光源灯丝；4—透明隔热玻璃；
5—灯壳；6—单灯外壳；7—光束中心
线；8—光束光斑（20 cm）

（肖辉乾）



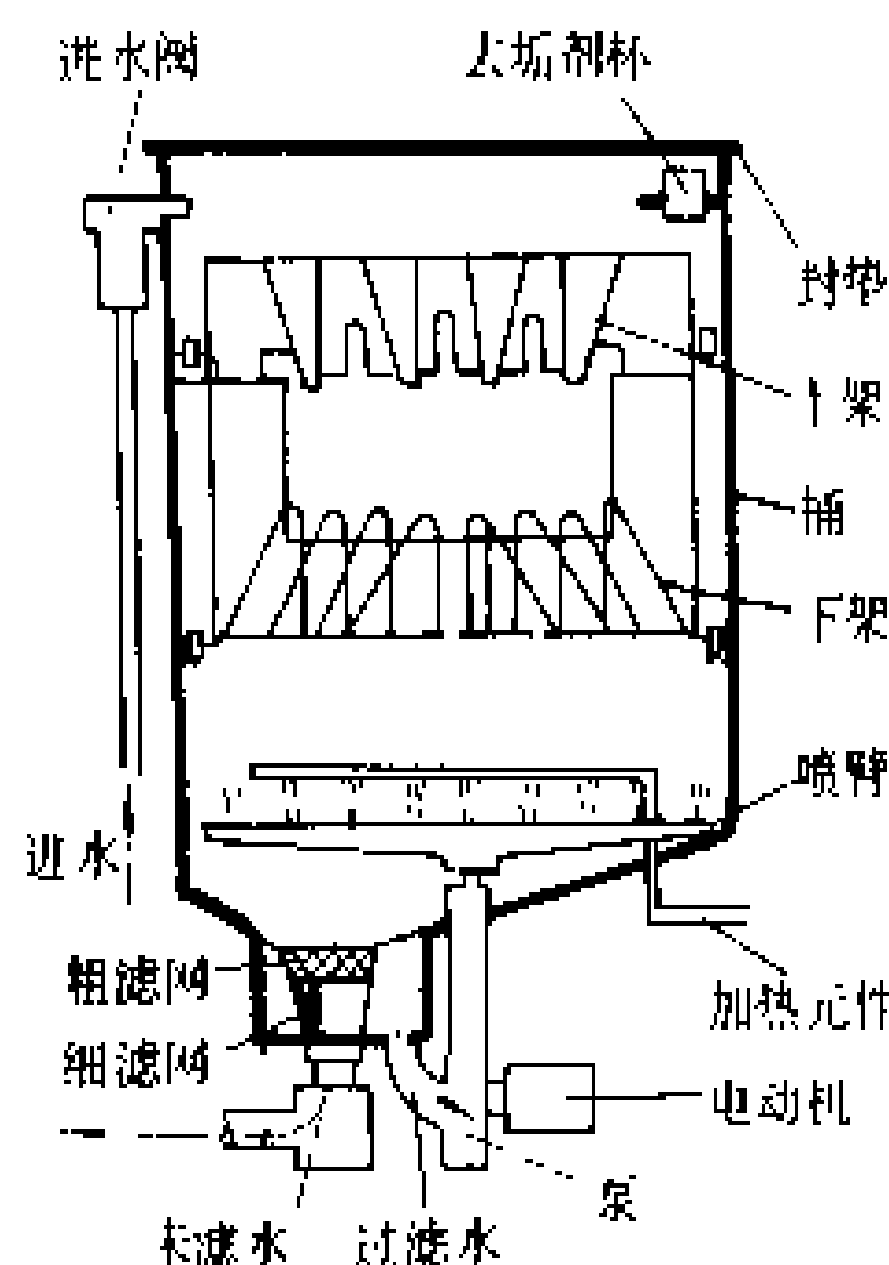
Xian dianlu yanjiqsuo
西安电炉研究所（Xian Electric Furnace Institute） 于1963年筹建,1965年在陕西西安正式建所,是中国电热设备研究、设计以及新产品开发中心。从事的专业是:热处理电阻炉、真空电阻炉、控制气氛发生装置、感应熔炼炉、感应加热设备、低频、中频及超高频电源装置、炼钢电弧炉、炉外精炼设备、矿热炉、电渣重熔炉、真空电弧炉、燃料加热工业炉窑以及炉用金属材料、耐火材料、水冷电缆、电热辐射管、电抗器、变压器等。设有相应的研究室7个,试验室10个,以及电炉产品中间试验站、热处理试验站。该所是电炉及工业炉行业的技术归口单位,主办《电炉》杂志,负责中国机械工程学会工业炉学会、中国电工技术学会电热专业委员会及全国电热设备标准化技术委员会的秘书处工作。中国电炉产品质量监督检测中心设在该所,受国家和用户的委托,从事电炉产品质量监督检测。建所30多年来,该所主持、组织、多项重点工程中重大电热设备的研制和试验,至1988年共开发新产品700余项,获得国家、部级嘉奖50项。

（胡叔良）

xidieji
洗碗机（dishwasher） 利用电力清洗碗、碟、杯、盘等餐具的厨房器具,又称洗碗机或餐具清洗机。家用洗碗机按工作原理分为叶轮式和喷射式,喷射式较为流行,按餐具装入方式分为前装式和顶装式,以前装式居多。

1927年,世界上第一台由电动机直接驱动的洗碗机在美国问世。早期的洗碗机是靠人工注水,利用搅拌叶片来搅起水槽中的水进行洗涤。30年代,洗碗机已能自动地完成预洗、洗涤和漂洗,但餐具只能自行滴干。1940年,美国研制成功第一台电热烘干的全自动洗碗机。后来美国通用电气公司制出的喷射式机型,为现代喷射式洗碗机奠定了基础。家用洗碗机正向着省电、省水、省洗涤剂、多功能、自动化和小型化的方向发展。

家用洗碗机主要由内外箱体、餐具搁架、喷射（喷射式）或叶轮（叶轮式）机构、电动机、供排水系统（有水泵、进排水阀、滤网等）、洗涤剂投入机构、程序控制机构和加热元件等组成。叶轮式洗碗机具有一个特殊形状的叶轮,叶轮由电动机带动快速旋转(转速在1000 r/min 以上),将水向机内各方向甩出,遂产生洗涤作用。喷射式洗碗机(见图)与叶轮式洗碗机的主要区别是用喷嘴代替了叶轮,工作时,先将洗涤用水经加热元件加热,然后由泵将热水抽进喷臂,从喷臂上的喷嘴喷出,由于水的喷射方向与喷臂倾斜成一角度,因此水喷射时的反作用力驱动喷臂快速旋转,使水不停地改变喷射方向,喷射到机内的各个角落。洗涤后的热水经过滤网过滤,可循环使用。在洗涤程序之后,一般是两次漂洗,最后烘干。加热元件是金属管式,控制程序由程序控制器操作。



喷射式洗碗机结构示意图

为提高洗净效果,对洗涤用水的硬度和杂质含量有一定的要求。由于各地的水质不同,对洗涤剂的要求也不相同,对不同的洗涤剂最好先经试用,以决定哪一种对本地的水质最为适用。用于洗碗机的洗涤剂均为低泡沫高碱性,因此不能用于手工洗涤。为了降低能耗,如不急于立刻取出使用,可采用自然通风干燥的办法。对不适宜用洗碗机洗涤的器皿(如阳极氧化着色处理的铝质器皿和手绘瓷器等,易受洗涤剂影响),应改用手洗。

（陈祖勳）

xiyiji
洗衣机（washing machine; washer） 利用电能产生机械作用来洗涤衣物的清洁器具（见家用电器）。洗衣机按额定洗涤容量（一次可洗涤的最大干衣物重量,以kg 计算）分为家用和集体用两类,一般洗涤容量在6 kg 以下的属于家用洗衣机。家用洗衣机主要由箱体、洗涤脱水桶（有的洗涤和脱水桶分开）、传动和控制系统等几部分组成,有的还装有加热装置。洗衣机输入功率一般为180~250 W。1.5 kg 和2 kg 波轮式洗衣机常配置90 W 和120 W 电机,其起动电流分别为2 A 和2.5 A,以满足家用电能表的要求。

简史 1858年,美国H.E. 史密斯（Hamiltan

E. Smith)发明了世界上第一台机械式洗衣机,由洗衣桶、装有多片叶片的垂直轴和手动曲轴装置组成,但这种洗衣机既不省力又损伤衣物,未得到推广。1910年,美国A.J. 费希尔(Alva J. Fisher)发明了世界上第一台电动洗衣机。1922年H. 斯奈德(Howard Snyder)发明了搅拌式洗衣机,受到广泛的欢迎,其洗涤系统一直沿用至今。与此几乎同时,英国出现喷射式洗衣机。1937年,第一台自动型滚筒式洗衣机问世。1951年,日本在引进喷射式洗衣机的基础上研制成功涡卷式洗衣机,很快在日本流行;1960年,带有离心脱水装置的涡卷式双桶洗衣机投入市场;1965年,全自动型涡卷式洗衣机开始生产。

中国洗衣机制造业是在制造涡卷式洗衣机的基础上发展起来的。1957年沈阳轻工机械厂试制出中国第一台家用洗衣机,但未投产;1964年上海试制成功涡卷式双桶洗衣机并有少量生产;1978年广州家用电器八厂(现广州家乐洗衣机厂)试制成功全塑喷射式1.2 kg洗涤容量洗衣机;1978年底无锡洗衣机厂制成全自动型涡卷式2 kg洗涤容量洗衣机。

结构和分类 家用洗衣机主要由箱体、洗涤脱水桶(有的洗衣机洗涤和脱水桶分开)、传动和控制系统等几部分组成,有的还装有加热装置。

洗衣机按操作的自动化程度分为:①普通型,洗涤、漂洗、脱水各功能的操作均需人工转换。②半自动型,洗涤、漂洗、脱水各功能中任意两个功能的转换能自动完成。③全自动型,洗涤、漂洗、脱水各功能的转换全部能自动进行。

洗衣机按结构原理分类,主要型式有三种(如图所示):①搅拌式(或称摆动叶式),是历史最久的机型,美国是主要生产国。它是一种通过搅拌(摆动)叶的连续往复摆动,带动洗涤液和洗涤物互相作用而进行洗涤的洗衣机。②滚筒式,是世界产量最大的机型,流行

于欧洲各国和美国。它是在一个水平放置的作盛水用的圆柱形外筒中,套装一个可围绕水平轴正反向旋转的内筒,内筒壁上有许多小孔和几条凸筋;当内筒转动时,洗涤物随筒内的凸筋上升而后被抛下,如此不断翻滚摔打进行洗涤。按投放洗涤物的位置不同,该型又分为上装入式和前装入式。③波轮式,是一种通过洗涤桶内波轮的转动,推动洗涤液和洗涤物不断翻滚、摩擦而进行洗涤的洗衣机。波轮位于洗涤桶底部的称为涡卷式;波轮位于洗涤桶侧面的称为喷射式。日本和中国主要生产涡卷式洗衣机,苏联生产喷射式洗衣机较多。

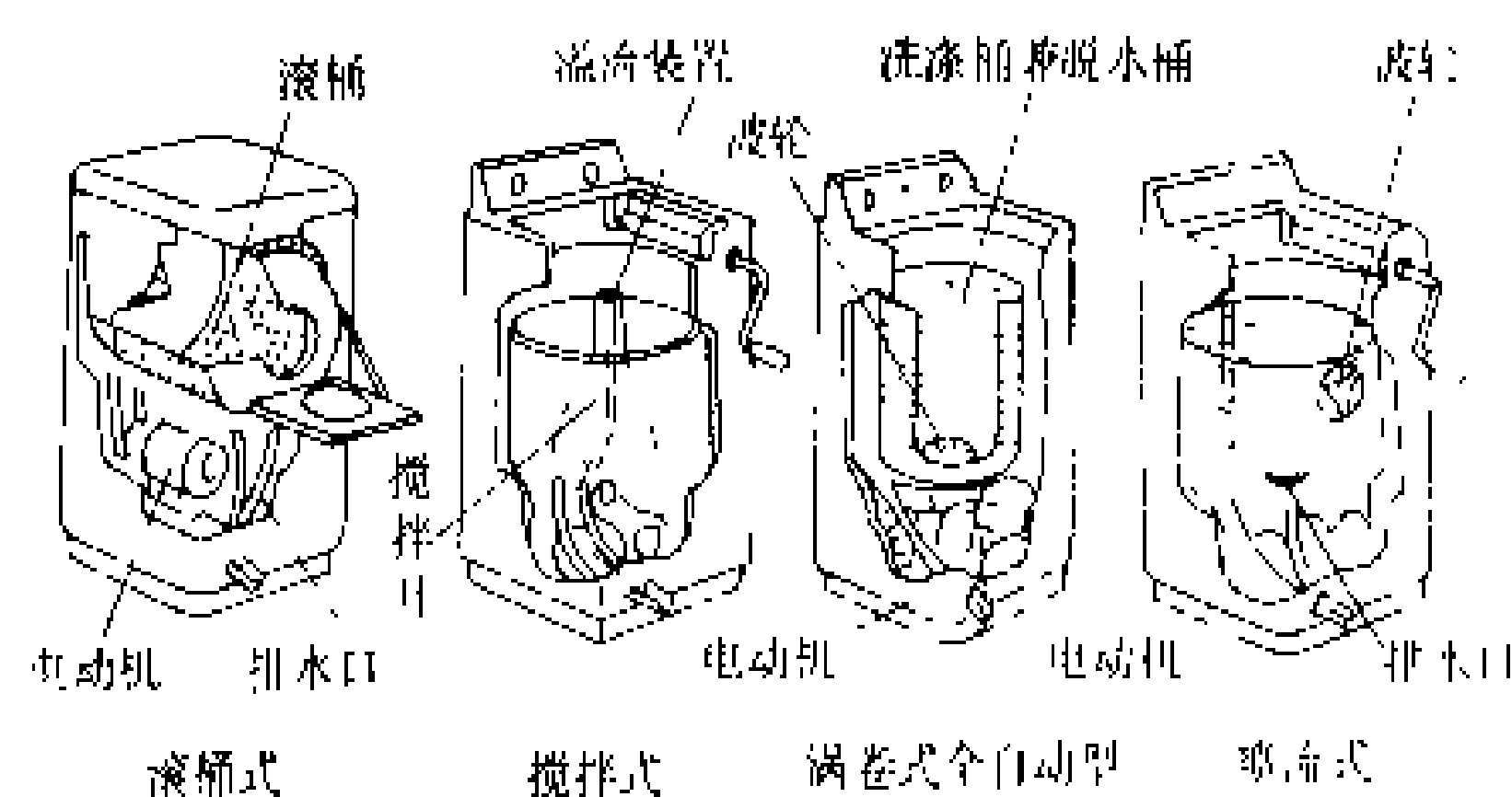
此外还有振动式、喷水式、可动容器式、柜式等多种洗衣机,但很少见。集体用和商业用洗衣机最常见的是滚筒式机型。一些国家兴起的公共洗衣站,不需人管理,采用投币式自动洗衣机,顾客只要投入规定的硬币接通电源,洗衣机即自动运行,方便生活,很受欢迎。

主要质量指标 机械力、洗涤液(洗涤剂的水溶液)和液温是洗衣机洗涤过程中的三要素。洗衣机运动部件产生的机械力和洗涤液的作用使污垢与衣物纤维脱离。洗涤液的温度对去污效果有一定的影响。加热洗涤液,可增强去污效果。织物不同,合适的液温亦不同。

反映洗衣机洗衣性能的主要指标包括洗净率、磨损率、漂洗比、脱水率等。①洗净率(或洗净比),各国没有统一要求,中国规定涡卷式洗衣机的洗净比应不小于0.8(以参比洗衣机的洗净率等于40%为基准)。②织物磨损率,反映洗衣机对所洗衣物的磨损程度,有“绒毛法”和“失重法”两种测定方法。各国对磨损率的要求亦没有统一,中国规定应不大于0.2%。③漂洗比(或漂洗效率),反映洗衣机在洗涤后漂清洗涤物中残留洗涤液的能力,各种洗衣机的漂洗比都应大于1。④脱水率,反映洗衣机的脱水能力。中国规定:对全自动搅拌式和涡卷式洗衣机,要求脱水率大于45%;对半自动涡卷式洗衣机,要求脱水率大于50%;对滚筒式洗衣机,要求脱水率大于40%。

生产工艺 家用洗衣机已实现现代化大批量生产,零部件实行专业化协作配套,大量采用高速高效的专用自动化加工设备,生产效率高,产品质量稳定,生产成本降低。总装厂一般包括箱体成型、前处理、喷涂、桶成型、部件组装和总装配等主要生产工序。工厂采用电子计算机进行生产管理,生产实现连续化和自动化。

选购和保养 选购洗衣机需要处理好以下几方面的问题。①选好品种、规格。中国市场上洗衣机主要有波轮式和滚筒式两种。波轮式有普通型、双桶普通型与半自动型、套桶半自动型和全自动型多种。滚筒式为全自动型并带加热装置。洗衣机的规格(以洗衣量表示)有1.5, 2.0, 2.5, 3.0 kg及3 kg以上等数种。一般3~4人的家庭可选用2~3 kg规格的洗衣机。洗衣机品种的选择需根据各个家庭的情况确定,从销售量分析,波轮式为主,双桶洗衣机居多。②注意耗电量。选



各种型式的洗衣机结构示意图

于欧洲各国和美国。它是在一个水平放置的作盛水用的圆柱形外筒中,套装一个可围绕水平轴正反向旋转的内筒,内筒壁上有许多小孔和几条凸筋;当内筒转动时,洗涤物随筒内的凸筋上升而后被抛下,如此不



购洗衣机时应弄清洗衣机的输入功率是多少,一般洗衣量为2 kg的洗衣机,可以在2.5 A以上的电能表线路中使用。③性能和功能。洗衣机的性能必须符合国家标准的规定要求,但有所差别,应该选择洗涤性能良好的产品。洗衣机的功能不断完善和改进,选购洗衣机时可以根据需要考。④开箱检查。除外观检查外,最好通电试运转,检查定时器及琴键开关的灵活可靠性,整机噪声和整机运转应无严重振动。

洗衣机是用水、用电、常在潮湿环境中工作的家用电器,注意安全用电十分重要,故要求可靠接地。做好洗衣机的日常维护保养,可以延长洗衣机使用寿命。①洗衣机用完后,要排净污水,用清水清洗,然后用软干布擦干内外,除去积存的残屑杂物,经通风干燥,不要用塑料袋罩盖。②不要反向拧定时器。③洗衣时衣物不要过量。④清理排水管,勿用坚硬器具。⑤在无水情况下,不要长时间运转,防止轴封过热而烧坏。⑥洗衣机不要靠近高温、火焰放置,也不要放在烈日下放置,以防止塑料件加速老化或电动机散热不良,冬季不要放在温度过低的地方。

发展趋势 ①电脑化。采用电脑控制,实现洗涤、漂洗、脱水、烘干全过程自动化,并且利用传感器根据洗衣量、洗涤物脏污程度,自动确定洗涤时间、漂洗时间和投入洗涤剂的数量,使洗涤过程最合理。②研制新型洗衣机。日本已有多种新水流和无波轮的洗衣机上市;苏联研制成功利用真空沸腾原理的不用洗衣粉的真空洗衣机;还有不用电动机的超声波洗衣机、蒸汽洗衣机等。③大容量化。为减少洗衣次数和增大洗涤容量,洗衣机一次洗涤量已从2 kg以下发展到3~6 kg。

(陈祖勋)

xiashizhi

夏时制 (summer time) 根据夏季日照时间长,为充分利用日光进行照明,以节约照明用电,人为地设置的一种时间制度,又称经济时。夏时制具体规定在每年夏初的某一天,将时钟的时针拨快1 h,到秋初的某一天,再将时钟拨慢1 h,恢复至夏初时间原始状态。夏时制及其开始与结束的日期,通常以国家法令的形式公布实行。考虑到人们对时差适应的需要,夏时制开始与结束的日期一般都选在星期日。具体日期要视各国所处的地理经纬度的不同有所差异。在北半球的国家,通常选择在每年3月底至4月中旬的某个星期日作为夏时制开始日期,9月中旬至10月上旬的某个星期日作为夏时制结束日期。具体拨时钟的时刻各国的作法也不尽相同,有的选在午夜1时拨钟,有的选在午夜2时拨钟。

夏时制最先由英国人威廉·威利特1908年在英

国议会上提出,但当时被英国议会否决。1916年3月德国率先实行夏时制,当年就节约燃料费约2亿马克。随后,法国、奥地利、荷兰、丹麦、挪威、意大利、葡萄牙、瑞典等欧洲国家也先后实行。1966年美国国会通过法令,也开始实行夏时制。1980年10月苏联部长会议作出决定,从1981年起在全苏联境内实行夏时制。1981年起欧洲共同体各国共同实行夏时制。1948年韩国也实行夏时制,但到1961年取消这一做法,1987年又重新恢复夏时制。1983年蒙古人民共和国也实行夏时制。罗马尼亚、保加利亚、捷克斯洛伐克、匈牙利以及加拿大、澳大利亚等国家也先后实行夏时制。

据英国在1970年的调查,当年实行夏时制而节约燃料费1亿多英镑;法国在1981年调查,实行夏时制使当年节约的能源可供100万人口的城市使用1年;苏联在1981年实行夏时制,使82%居民户的用电量减少,共节约电能25亿kW·h。

中国在1949前,曾在上海、重庆等局部地区试行过“日光节约时间”。1986年经中华人民共和国国务院决定,从当年5月4日起在全国实行夏时制,5月4日2时将时钟从2时拨至3时,到9月14日2时,再将时钟从2时拨回到1时,夏时制结束,共实行133天。经中国水利电力部抽样调查,城市居民每户平均节约电能6.2kW·h,农村居民每户平均节约电能1.72kW·h,机关、院校、部队、商店等节约照明用电5%,全国共节约电能6.27亿kW·h。1987年中国国务院办公厅正式发布公告,规定每年从4月中旬第一个星期日作为全国夏时制开始日期,9月中旬第一个星期日作为夏时制结束日期。据水利电力部调查,1987年全国夏时制节电7.54亿kW·h,夏时制的节电效果因供电状况、地理经纬度、气候、作息制度、交通和居住条件等因素的不同,存在着明显的差异。由于中国地域辽阔,跨越五个时区,南北纬度相差很大,全国实行夏时制,给铁路、气象部门带来不便,一些省区也自行改夏时制的作息时间,因此,中国政府又作出规定,从1990年起停止实行夏时制。

(徐纪法)

xiandeng

氙灯 (xenon lamp) 利用高气压或超高气压氙气的放电而发光的电光源。氙灯是在高压汞灯的基础上发展起来的。它的历史与发展过程和金属卤化物灯相似。不同的是金属卤化物灯是利用高压金属蒸汽放电而发光;氙灯则是利用高压或超高压的氙气放电而发光。

工作原理 氙气在高气压或超高气压情况下产生

放电，氙原子被发射到很高的能级，并被大量的电离。这样在可见光区域内发射出叠加着少量线光谱的连续光谱。它的光色与日光很接近，而且当电流、氙气气压在很大范围内变动时，光谱能量的分布的变化就很小。另外它的亮度很高，发光效率（光效）大约为 $20 \sim 50 \text{lm/W}$ ，灯一点燃后就可达到稳定的光输出。当灯熄灭后，可瞬时再点燃。尽管灯的光效不是很高，但灯的上述优点使它成为一用途较广的电光源。

分类 按供电电源分类有直流供电氙灯和交流供电氙灯；按电弧长度分类有短弧氙灯和长弧氙灯。

短弧氙灯的结构如图 1 所示，由石英玻璃泡壳、钨阳极、钨阴极、钨箔与灯头五部分组成。灯的电弧长

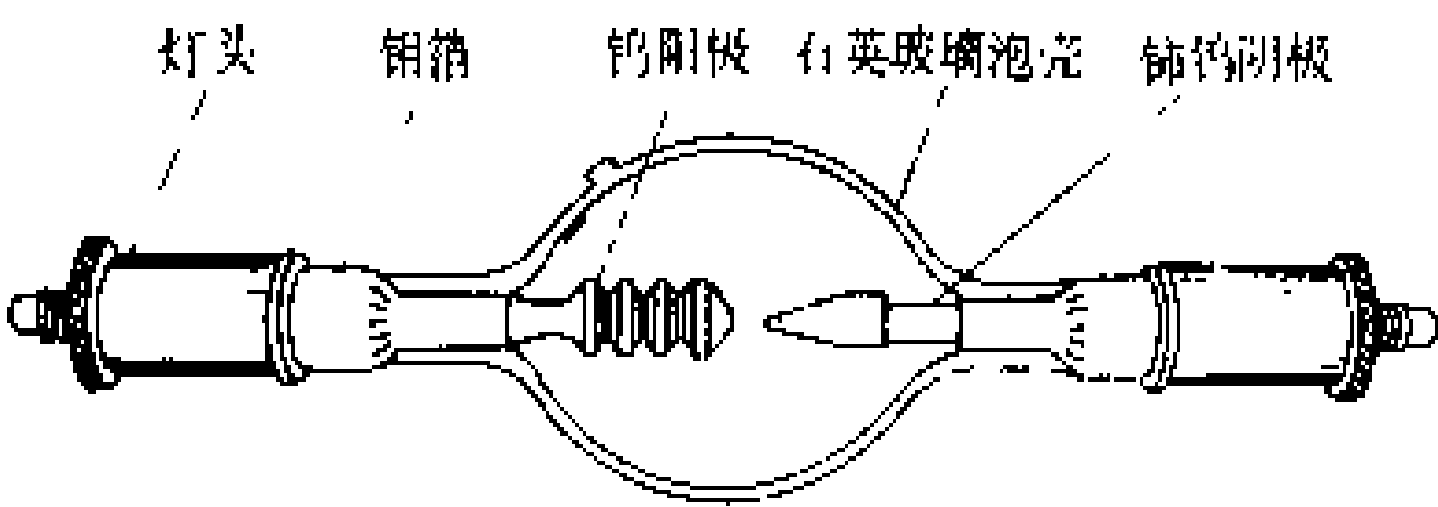


图 1 风冷短弧氙灯结构示意图

度短的只有几毫米，电弧为电极稳定型，位于近似球形石英玻璃泡壳的中心部位。电极的形状对电弧的稳定有显著的影响。当电极产生“尖点生长”引起变形时，将出现不稳定现象。这种灯一般是设计在稳定的直流电源下工作。由于灯的电弧短，所以要求供电电压低、电流高。此外，当提高灯内充气压力时，由于功率负载较高而引起灯电压的增大，光效上升，特别是电弧亮度的提高，成为灯的一个重要优点。图 2 为 20kW 水冷短弧氙灯电弧的亮度分布情况。由于这种灯是具有很高亮度的点光源，光色也好，启动时间又短，所以在工业生产、国防和科研等许多方面得到广泛的应用。它可用作标准白色光源或连续紫外线辐射源，也可用作太阳模拟光源，还可将它用在红外加热成像炉中熔炼难熔的金属和材料，而更多的则是用来放映彩色电影。

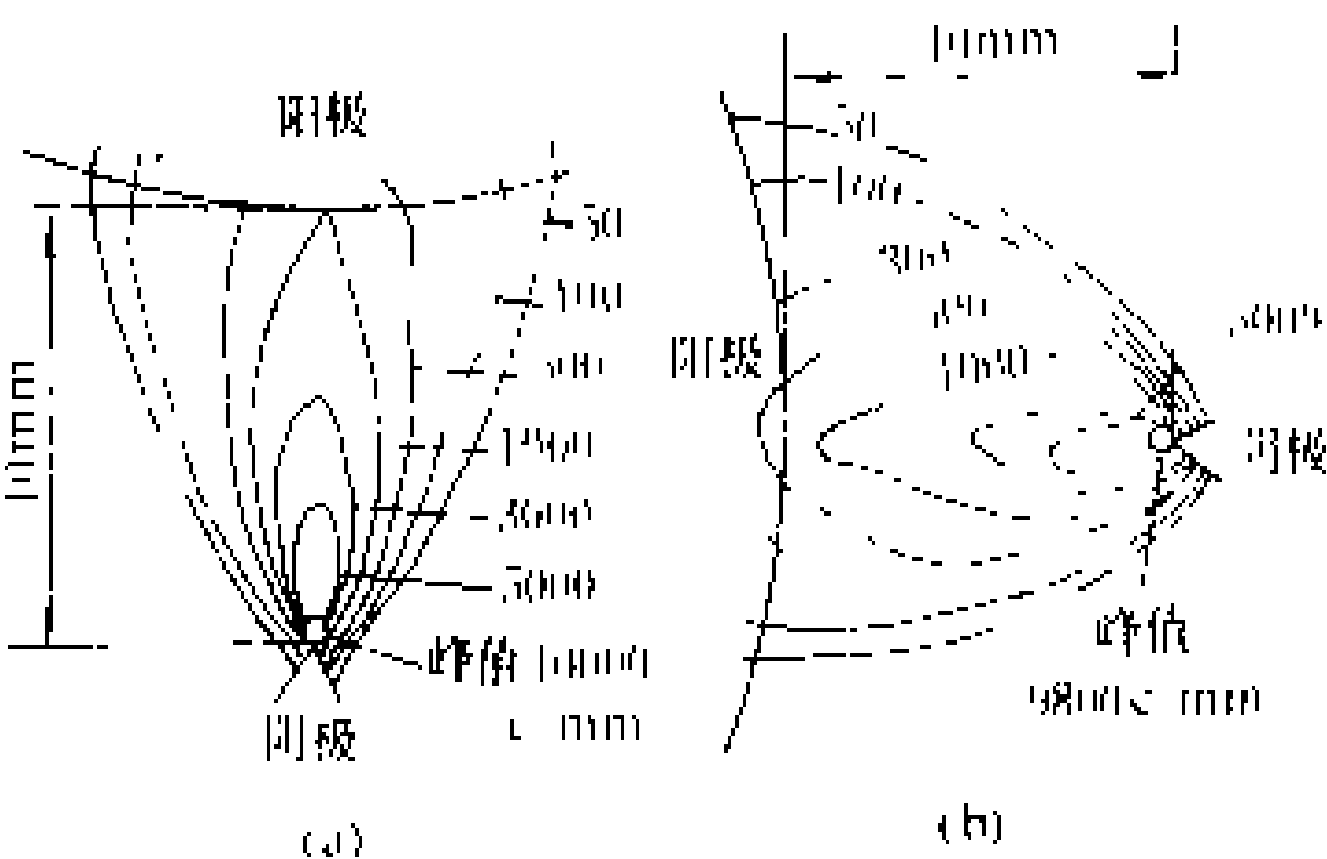


图 2 20kW 水冷短弧氙灯电弧的亮度分布
(a) 垂直点燃；(b) 水平点燃

长弧氙灯的设计比短弧氙灯简单，图 3 所示为水

冷长弧氙灯的结构。它由石英玻璃放电管、电极、玻璃水冷套、进水与出水管等部分组成。这种灯在直管形石英玻璃放电管中具有管壁稳定的电弧。由于制灯可部分实行机械化，所以灯的成本较低。灯的电极形状对电弧的稳定性没有多大影响。电源可使用交流供电，灯的电弧长，给定功率的电压降也较大，灯电流则相应减小。石英玻璃的最大工作温度极限，限制了管壁稳定电弧的功率负载，因而不需采用高的充气压力。灯的管壁功率负载比短弧氙灯小得多，约为 9.0W/cm^2 （短弧氙灯为 19.0W/cm^2 ），而电弧电压较高则表明电弧功率与电极损耗的比率也较大。因此只有额定功率很高的长弧氙灯，才能获得与短弧氙灯相同的光效。长弧氙灯的功率很大，一般都在 1kW 以上，多数为 20kW ，高的达 300kW ，而且光谱与日光相近，光源的亮度很高，被称为人造小太阳，在码头、广场、车站、体育场等许多地方的大面积照明中得到广泛的应用。另外，长弧氙灯还可作为布匹颜色检验，织物、药物、塑料、橡胶等的老化试验、人工气候室的植物培养，以及光化学反应等方面的照明光源。水冷长弧氙灯红外线的很大部分被水带走，适合室内使用，如老化试验、植物培养等一般就用这种类型的氙灯。

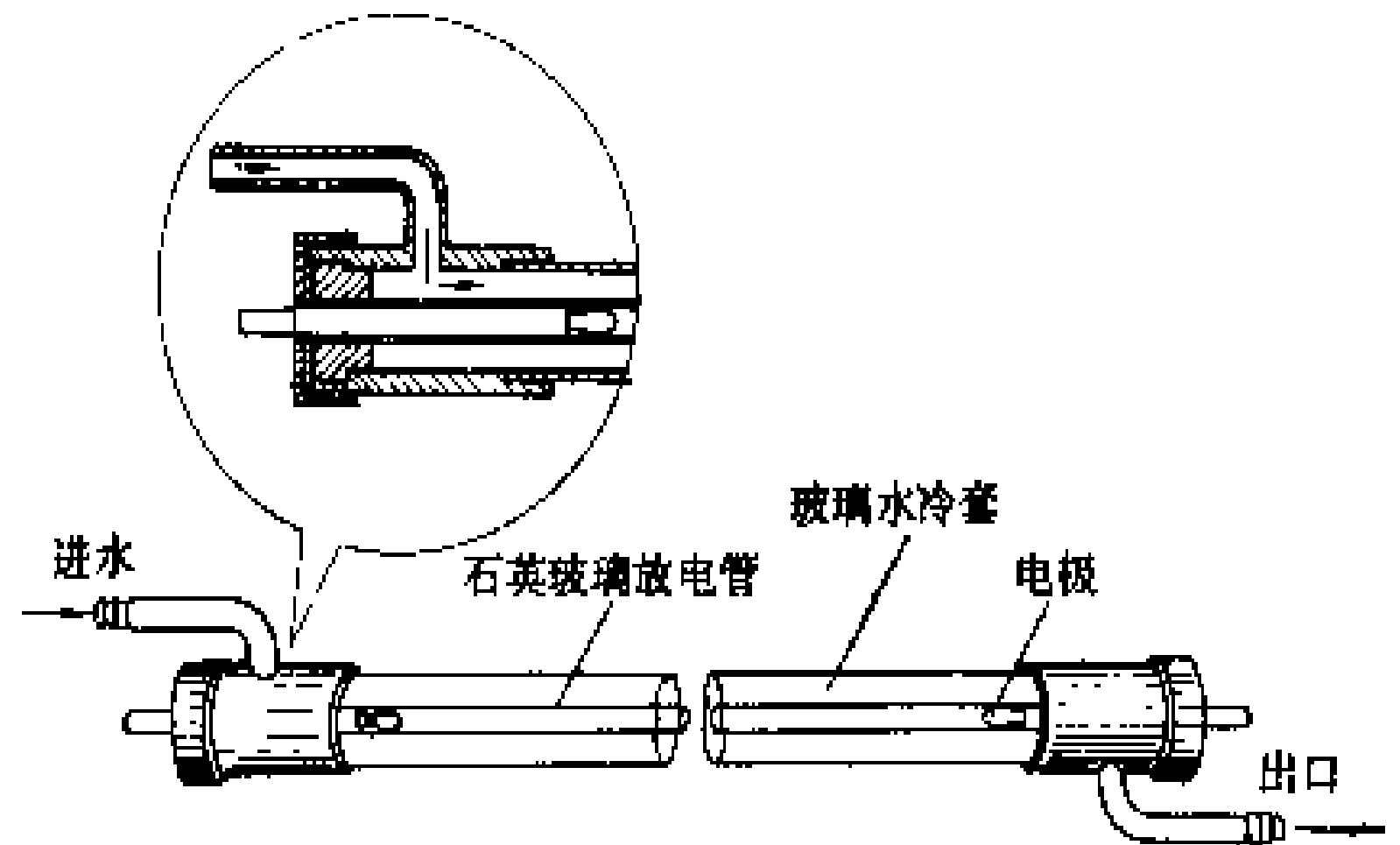


图 3 水冷长弧氙灯结构示意图

除短弧氙灯和长弧氙灯外，还有氙气闪光灯和脉冲氙灯。氙气闪光灯大体上和长弧氙灯相似，只是利用短暂（几毫秒以下）的放电发光。脉冲氙灯的基本原理和氙气闪光灯一样，不过它在工作时的平均功率消耗较高，能在正常的交流电源的半周期内产生闪光。

氙灯的用途虽然较广，但是由于灯的寿命较短，成本较高，而且需使用庞大而笨重的控制设备，从而限制了它的应用范围。另外，使用短弧氙灯时，须对高压启动脉冲和产生的大量的紫外线、甚至对可能产生爆炸的危险等采取必要的防护措施。从发展趋势看，虽然随着金属卤化物灯等高强度气体放电灯的发展与大量的应用，氙灯在一部分场所的照明中将被淘汰，但仍有不少地方的照明以使用氙灯更为适合。

（肖辉乾）



xianse zhishu

显色指数 (colour rendering index) 度量光源显现物体颜色特性的参数。它表示被测光源下物体的颜色和参照光源下物体颜色的相符程度。1974年国际照明委员会(CIE)制订一种以显色指数量值表示光源显色性的方法,规定用普朗克辐射体或标准照明体D分别作为相关色温在5000 K以下或高于5000 K的待测光源的参照光源,并将参照光源的显色指数定为100。这个方法同时规定若干测验用的颜色样品,以这些样品和另一3000 K标准荧光灯下的颜色变化量为尺度,约定标准荧光灯的显色指数为50。根据在参照光源下和待测光源下颜色样品的色差,结合上述显色指数的定量尺度,用以导出计算显色指数的公式。

显色指数分为特殊显色指数和一般显色指数。

特殊显色指数 (special colour rendering index) 光源对某一选定标准颜色样品的显色指数,符号为 R_i , 即

$$R_i=100-4.6 \Delta E$$

式中 ΔE 为所选颜色样品在参照光源下和在待测光源下的色差。CIE 规定了计算一般显色指数用的八种标准颜色样品;另外,还补充规定了六种计算特殊颜色显色指数的标准颜色样品,供检验光源的某种特殊显色性能选用。它们是彩度较高的红、黄、绿、蓝及叶绿色和欧美人的肤色。中国计算光源显色指数的方法还增加中国青年妇女肤色的颜色样品。

一般显色指数 (general colour rendering index) 光源对 CIE 规定的八种颜色样品的特殊显色指数的平均值,符号为 R_a , 即

$$R_a=\frac{1}{8}\sum_{i=1}^8R_i$$

式中 R_i 为每一种颜色样品的特殊显色指数。这些颜色

评定光源显色性的定量指标。

CIE 按照光源的一般显色指数,将显色性能分为优($R_a=100\sim80$)、良($R_a=79\sim60$)、中($R_a=59\sim40$)、差($R_a=39\sim20$)四组,并推荐了各自的应用范围(见表)。转播彩色电视时要求光源显色指数 $R_a\geq 65\sim70$ 。
(詹庆旋)

xiandian

限电 (control electrical load) 电力供应中有意抑制需求或有计划缩减供应量的事件。电力系统发电装机容量不足,火力发电厂燃料供应短缺,水力发电厂来水偏枯,输变电能力不足或故障等,均会引起电力缺额。为保证国民经济重要部门和社会生活必须的用电,必须对一些次要的用电需求进行限制,才能保障电力系统安全和维持合格的电能质量。通常的限电规定是由政府通过行政命令来发布的或经政府批准的。

20 世纪 60 年代初,日本经济开始发展,出现了缺电现象。日本政府为保证其经济发展,于 1965 年以通产省令第 53 号发布了《受电限制规则》,以此来抑制一些工业部门对电力过旺的需求。1973 年世界石油危机后,日本政府为解决燃料不足,于 1974 年以通产省令第 2 号发布《限制用电规则》,规定对 500 kW 以上用户限制用电,对装饰、广告及类似用电每周停止供电 2 天。中国从 1970 年起,在一些电力系统出现缺电,国家规定实行计划用电,1978 年 1 月以国发(1978)2 号文正式发布《加强计划用电,实行凭证供电办法》,规定对电力供应,要像口粮一样实行定量供应。此后,中国又提出一系列计划用电的办法。

根据缺电引起的原因,限电分为事故限电与计划限电。

事故限电 当电力系统发生事故,出现暂时的电力缺额时,为保证重要用户的用电,而按事先规定的方案所进行的限电。电力的生产、供应、使用同时完成,电力系统发生事故的时间、地点与规模无法预见,因此,要求事故限电在事故发生后迅速进行,并使限电造成的影响控制在最低限度内。为应付可能出现的各种电力系

统事故,事前根据用户用电的重要程度和它在国民经济中的地位,编制出多种事故限电方案和拉闸限电序

光源显色性的分组表

显色性 组 别	显色指数 范 围	色 表	应 用 示 例	
			优先采用	允许采用
1A	$R_a\geq 90$	暖、中间、冷	颜色匹配、医疗诊所、画廊	
1B	$90>R_a\geq 80$	暖、中间、冷	家庭、旅馆、餐馆、商店、办公室、学校、医院及印刷、油漆和纺织工业、视觉费力的工业生产	
2	$80>R_a\geq 60$	暖、中间、冷	工业生产	办公室、学校
3	$60>R_a\geq 40$		粗加工生产	工业生产
4	$40>R_a\geq 20$			粗加工生产、显色性要求低的工业生产

样品包括孟塞尔颜色系统中各种有代表性的色调,具有中等的彩度和明度。因此,通常用一般显色指数作为

位。要使电力系统在发生事故后能迅速恢复稳定,通常借助自动装置如低频自动减负荷装置、自动解列装置等的功能,在无人工干预的条件下,迅速切除不重要的负荷。当仍难以维持系统稳定时,再由人工按限电的序位切除负荷。

计划限电 在一段相当长的时期内,电力供应难以满足用户的需求,而按预先安排的计划所进行的限电。发电装机不足或一次能源短缺,是电力长时期存在缺额的基本原因。国家为宏观调控电力需求,常以政府名义发布行政命令,规定停止开放某类新的用电,限制某类用电量的增加,不准使用某类用电器具,调整或减少某类供电时间,对某些用户实行轮流供电等,这些都属计划限电的具体措施。计划限电是按事先安排的计划进行的,一般不会引起用户的直接经济损失。

(徐纪法)

xiebo

谐波 (harmonics) 频率为基波频率整数倍的正弦波分量,又称高次谐波。在交流电路中,具有非线性负荷的电气设备向电源反馈高次谐波,导致电力系统电压、电流波形畸变,使电能质量变坏。近年来,由于电力电子技术的发展,大量换流设备、电子设备等具有非线性负荷的电气设备接入电力系统,造成谐波污染。这些电气设备称之为谐波源,主要有电力机车、

电弧炉、整流器、变频器、逆变器、相控调速和调压装置、电焊机、感应加热设备、气体放电灯以及有磁饱和现象的机电设备。

谐波的危害性表现在干扰通信线路,使同步发电机额定输出功率降低,感应电动机功率因数下降、转矩降低、损耗增加,变压器温度升高、效率降低,加速电力电容器介质老化甚至损坏,控制保护及检测装置工作精度、可靠性降低等。

不少国家已经制订了谐波限制标准,规定了谐波允许限值。中国在 GB/T14549--93《电能质量 公用电网谐波》中规定的谐波电压限值如表 1,谐波电流允许值如表 2。

抑制谐波的措施有换流器增加整流相数,设置滤波装置,保持三相负荷平衡,采用电容吸收等。

见整流器谐波。

表 1 中国规定的谐波电压限值

电力系统标称电压 (kV)	电压总谐波畸变率(%)	各次谐波电压含有率(%)	
		奇次谐波	偶次谐波
0.38	5.0	4.0	2.0
6	4.0	3.2	1.6
10			
35	3.0	2.4	1.2
66			
110	2.0	1.6	0.8

表 2 中国规定的注入公共连接点的谐波电流允许值

标准电压 (kV)	基准短路容量 (MV·A)	谐波次数及谐波电流允许值 (A)																							
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
0.38	10	78	62	39	62	26	44	19	21	16	28	13	24	11	12	9.7	18	8.6	16	7.8	8.9	7.1	14	6.5	12
6	100	43	34	21	34	14	24	11	11	8.5	16	7.1	13	6.1	6.8	5.3	10	4.7	9.0	4.3	4.9	3.9	7.4	3.6	6.8
10	100	26	20	13	20	8.5	15	6.4	6.8	5.1	9.3	4.3	7.9	3.7	4.1	3.2	6.0	2.8	5.4	2.6	2.9	2.3	4.5	2.1	4.1
35	250	15	12	7.7	12	5.1	8.8	3.8	4.1	3.1	5.6	2.6	4.7	2.2	2.5	1.9	3.6	1.7	3.2	1.5	1.8	1.4	2.7	1.3	2.5
66	500	16	13	8.1	13	5.4	9.3	4.1	4.3	3.3	5.9	2.7	5.0	2.3	2.6	2.0	3.8	1.8	3.4	1.6	1.9	1.5	2.8	1.4	2.6
110	750	12	9.6	6.0	9.6	4.0	6.8	3.0	3.2	2.4	4.3	2.0	3.7	1.7	1.9	1.5	2.8	1.3	2.5	1.2	1.4	1.1	2.1	1.0	1.9

注: 220 kV 基准短路容量取 2000 MV·A。

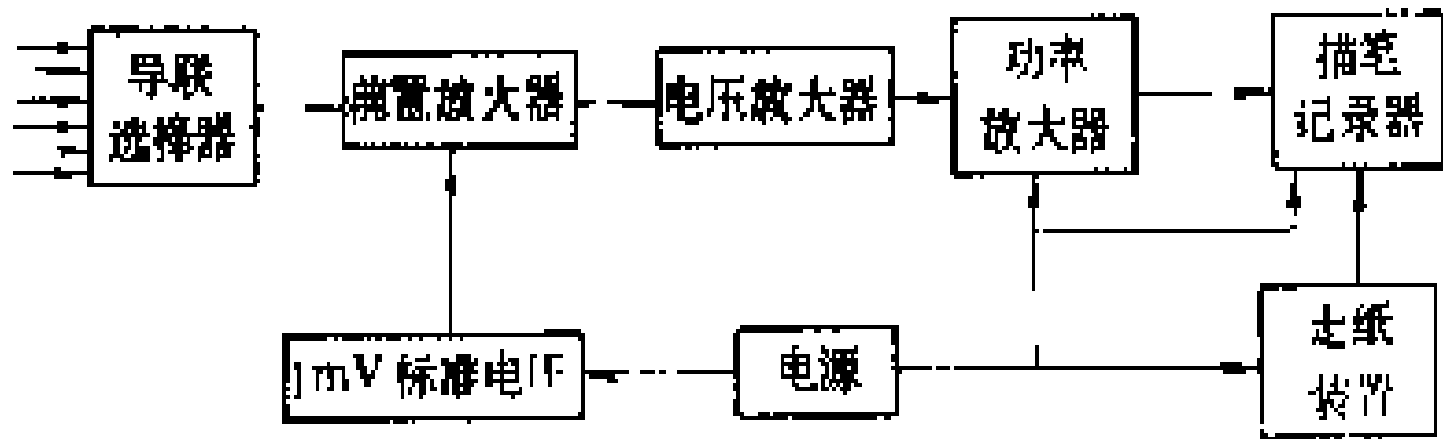
参考书目

吴竞昌等编, 电力系统谐波, 北京: 水利电力出版社, 1988

(王霖宗)

疾病的发生和存在。它对心脏疾病的诊断有很重要的作用。

心电图记录仪主要由放大器、记录装置、导子和导联选择器组成。其结构框图如下。



心电图记录仪结构方框图

xindiantu jiluyi

心电图记录仪 (electrocardiograph) 将心脏搏动过程所产生的位于肌体表面的电位差记录成心电图波形用以检查心脏功能的电子装置。心电图的变化,可帮助判断心脏功能是否正常,可提示多种心脏



电位差是通过测量肌体表面的两个点之间的电位得到的,所以心电图记录仪还需设有导子,以及与导子不同组合相配合的导联选择器。放大器是用来对心脏运动所产生的电位差(仅为1 mV左右)进行放大的,以便进行测量。电位差随心脏的搏动过程,每瞬间都在发生变化,即心电图为一时间函数。记录装置则对此进行图形记录。

心电图记录仪使用最广泛的是每个导子分别记录的便携式小型机,以及2~6个导子可同时记录的大型机。

心电图记录仪大都采用交流电源,也有的是利用电池的直流电源,以便急救和出诊使用。心电图记录仪在电源方面的设计,特别注意了电气安全性,可保证受检查者和操作人员的绝对安全。

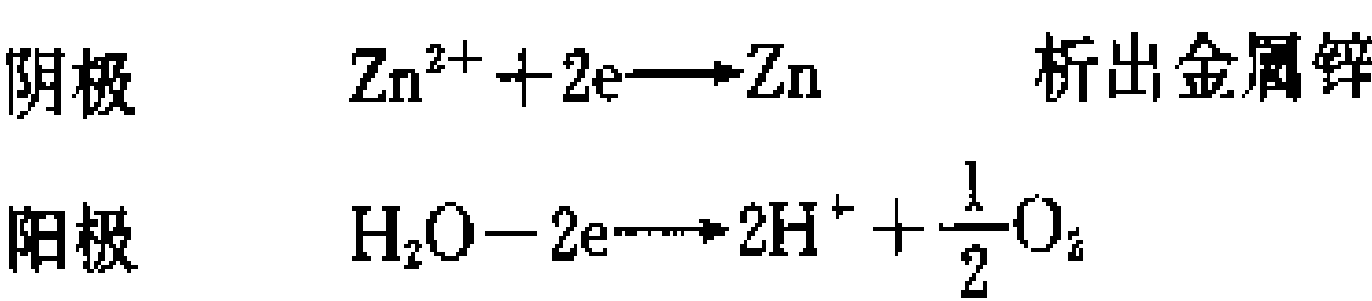
这类仪器的发展很快,如记录心脏房室传导过程的希氏束电图仪,记录高频心电变化的晚电位记录仪,用于观察偶发的心电异常的各类长时监护记录仪(Holter)等,均已大量应用。另外,随着集成电路和计算机技术的发展,新技术也正在不断引入,使这一类装置的准确度进一步提高,性能日臻完善,使用更为方便。

(周 奕)

xindianjie

锌电解 (zinc electrolytic deposition) 以硫酸锌水溶液为电解液,进行电解提取锌的冶金过程,又称锌的电解沉积。锌精矿经过焙烧产出焙砂,用废电解液和各种洗液配成的含有一定量硫酸的水溶液作溶剂,从焙砂中浸出锌。净化后的浸出液送去电积锌。锌电解的优点:一次得到高纯度金属,溶剂可以再生循环使用。缺点:槽电压高,电流效率较低,因而耗电量较大。

锌电解的过程为:以铅银合金板为阳极(不溶阳极),以铝板为阴极,以含有硫酸的硫酸锌水溶液为电解液,在电解槽中通直流电电解。在阴、阳极上发生如下电化学反应



在电解过程中,电解槽槽电压为3.4~3.6 V,电流密度为300~600 A/m²,每吨电解锌消耗直流电能3100~3300 kW·h。电解锌的纯度可达99.99%以上。锌电解耗能较多。

电解过程中,阳极除析出氧外,还析出二氧化锰,返回到浸出工序,用作氧化剂。

锌电解过程中,电解液系浸出净化后的含锌150

g/L左右的中性硫酸锌水溶液和从电解槽中排出的含锌50 g/L左右、硫酸150 g/L左右的废电解液的混合液。两者的体积比称为电解液的循环体积比。增大循环体积比中废电解液的比例,即增大循环量,可以消除浓差极化,降低槽电压,提高电流效率,但循环量过大会使阳极析出的二氧化锰进入阴极,影响阴极析出锌的质量,同时也增大了电能消耗。通常电解液循环体积比为1:(10~25)。

锌电解过程中,由于电解液等的电阻产生的焦耳热超过因蒸发、辐射而散发的热量,因而必须对电解液进行冷却,以维持电解液的温度在35~40℃。

在锌电解过程中,如中断供电将引起电解锌重新溶解,析出大量氢气,可能引起爆炸和火灾。

锌电解的槽电压较高,总电压也较高。大型锌电解厂的电解槽直流电总压降可达800 V,应注意漏电及人身安全。

1881年,法国L. 利特伦基(L. Litrenge)公布了电解提取锌的专利。百年来一直沿用这一方法,只不过使用的电解槽向大型化方向发展。电解液纯净程度是锌电解的关键问题,也是迄今为止一直在研究的课题。

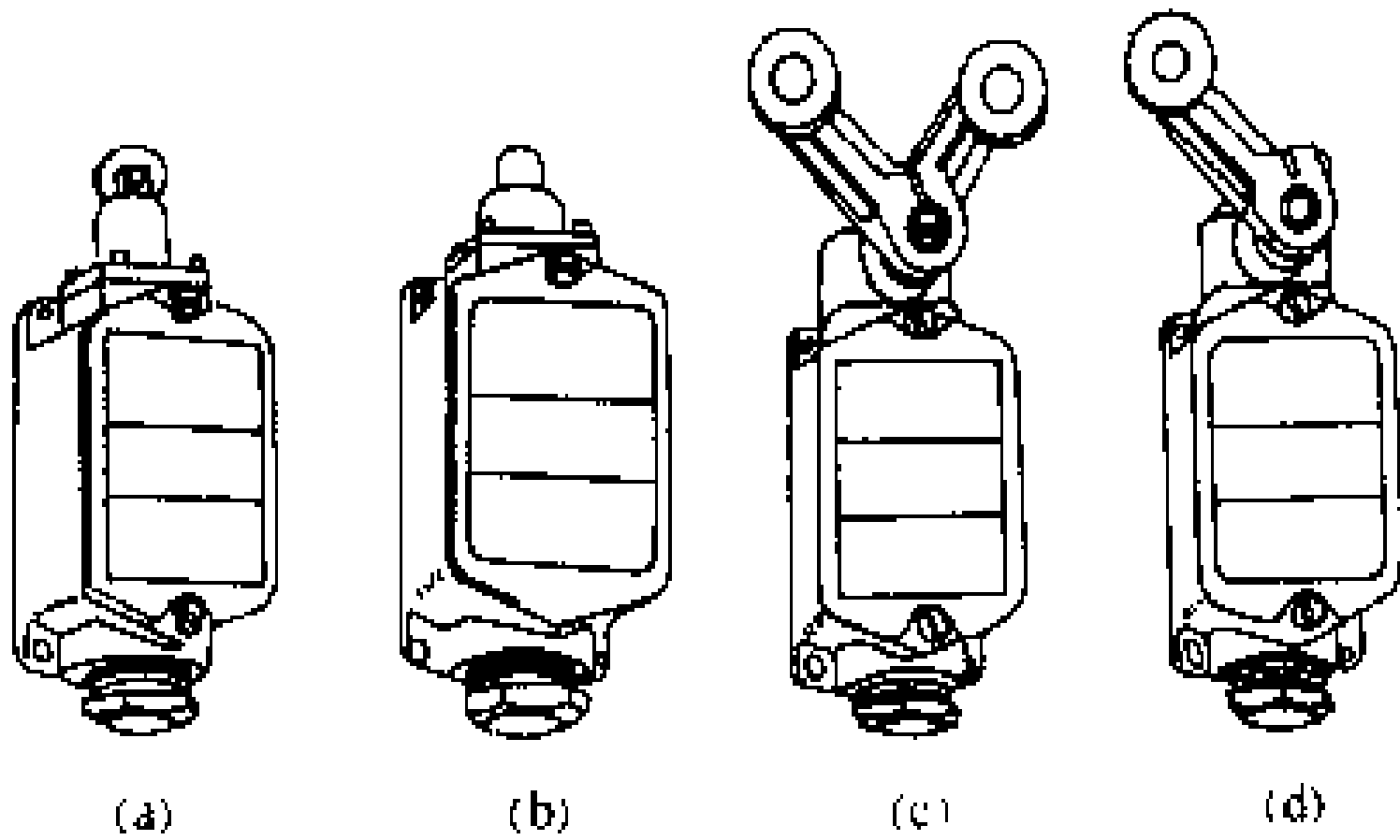
参考书目

赵天从,傅崇说.有色冶金原理.北京:冶金工业出版社,1984

(周裕岐)

xingcheng kaiguan

行程开关 (travel switch) 反应工作机械的行程、发出命令以控制其运动方向或行程大小的主令电器。各种行程开关中都含有一个类似按钮的微动开关元件,使用时当工作机械的行程到达某一规定距离时,下压行程开关的撞头,微动开关被按下,其触头便进行分(或合)动作。行程开关广泛应用于机床、起重运输机械、冶金机械以及闸门装置等设备。如在龙门刨床中,根据加工工件的长度,用调整安装在床身下部



行程开关外形图

(a) 带滚轮的直动式; (b) 直动式; (c) 双滚轮不能自动复位式; (d) 自动复位式



两端的两个行程开关的位置，即可控制龙门刨床床身往复运动的行程。又如在行车中，在限位的终端设置行程开关可以防止运行事故。

行程开关按传动机构的不同分为直动式 [图 (a)、(b)] 和转动式 [图 (c)、(d)]。行程开关的撞头上可装有滚轮，带滚轮的行程开关又分为自动复位式和不能自动复位式。图 (c) 所示的行程开关的传动杆做成 U 形，两侧各装有一个滚轮，一个滚轮下压后，壳体内部的微动开关被下压而动作，必须等另一个滚轮下压后，微动开关才被复位。

(方鸿发)

xuyongliu

需用率 (requirement rate) 用户或车间的最大用电负荷与该用户 (车间) 总用电设备容量之比，又称需要系数。需用率表明用电设备容量的利用程度。用户的需用率与用户行业特点有关，常用来预计用户最大负荷。

具体计算方法为

$$K_n = (P_{max}/P_n) \times 100\%$$

式中 K_n 为需用率； P_{max} 为用户最大负荷，kW； P_n 为用户用电设备总容量，kW。

(郝士茹)

xudianchi

蓄电池 (storage battery)

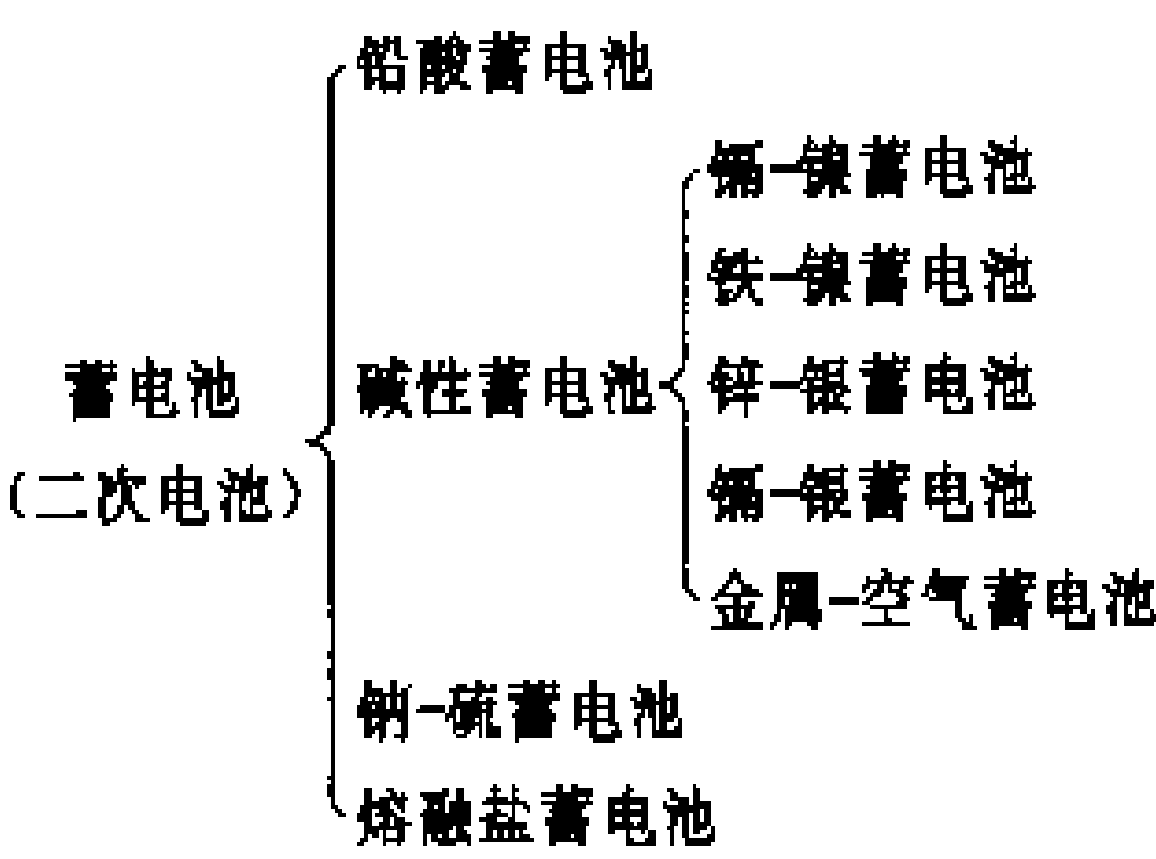
铅-酸蓄电池	442
结构	442
电池特性	442
电动势	442
充、放电特性	442
容量	443
寿命	443
用途	443
碱性蓄电池	443
镉-镍蓄电池及铁-镍蓄电池	443
结构	443
电池特性	444
寿命	444
用途	444
锌-银蓄电池	445
结构	445
电池特性	445
镉-银蓄电池	445
结构	445
电池特性	446
锌-空气蓄电池	446
钠-硫蓄电池	446

熔融盐蓄电池	447
历史和发展	447

放电后可用充电的方法使其活性物质回复到初始状态，从而获得再放电能力，即反应是可逆的化学电源称为蓄电池，又称二次电池。这种反复充、放电循环次数随电池所采用的电化学体系以及使用的方法而异，可在几十次至几千次之间变化。

蓄电池是电化学成流体系中的一种，其电化学式可写成：⊖负极活性物质|电解质|正极活性物质⊕，式中“|”代表电极。放电时负极活性物质发生氧化反应，释放出电子，输至外电路，正极活性物质接受电子发生还原反应，总反应结果是变化学能为电能。充电时则相反，负极活性物质接受电子发生还原反应，正极活性物质发生氧化反应释放出电子，反应所需能量是由外部电源供给的，即电化学体系中电解体系的反应特性。蓄电池一般由正、负电极及其活性物质、电解质、隔膜、容器等主要部件组成。

蓄电池用途广泛，种类繁多，可分类如下：



最常用的铅酸蓄电池和碱性蓄电池的种类及用途见表 1，其性能见表 2。

表 1 蓄电池种类及用途

用 途	铅酸蓄电池			碱性蓄电池		
	普通式	密封式	胶体式	镉-镍蓄电池 密封式	镉-镍蓄电池 普通式	铁-镍 蓄电池
汽车用 (起动、照明、点火)	—	⊙	—	—	—	—
固定用 (电站、电信)	○	⊙	○	○	—	—
电动车辆用 (工业、列车、电车用)	—	○	⊙	○	—	—
携带用 (包括小型在内)	—	○	○	○	○	○
矿山安全灯	—	—	○	⊙	—	—
船 用	—	○	○	⊙	—	—
军用、特殊用	—	○	○	○	○	○

注：⊙表示最适宜；○表示适宜。

表 2 常用蓄电池的性能

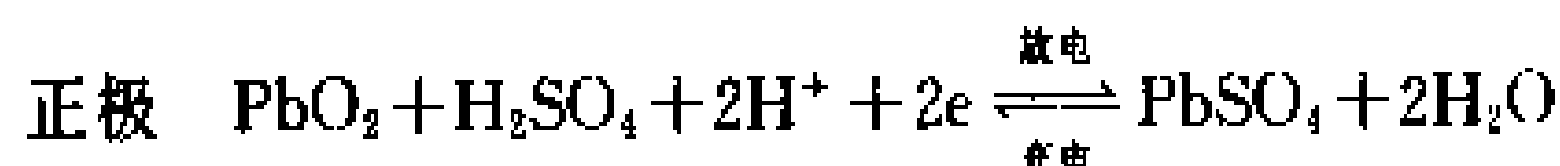
种类	组成			电极反应	电动势/V	容量/Ah		充放电循环/次
	负极	电解液	正极			放电	充电	
铅酸蓄电池	Pb	H ₂ SO ₄	PbO ₂	$\text{Pb} + \text{PbO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \xrightleftharpoons[\text{充电}]{\text{放电}} 2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	2.0	30~50	50~80	100~400
镉-镍蓄电池	Cd	KOH	NiOOH	$\text{Cd} + 2\text{NiOOH} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightleftharpoons[\text{充电}]{\text{放电}} \text{Cd(OH)}_2 + 2\text{Ni(OH)}_2$	1.2	15~30	25~50	500~5000
铁-镍蓄电池	Fe	KOH	NiOOH	$\text{Fe} + 2\text{NiOOH} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightleftharpoons[\text{充电}]{\text{放电}} \text{Fe(OH)}_2 + 2\text{Ni(OH)}_2$	1.2	15~30	20~40	500~1000
锌-银蓄电池	Zn	KOH	Ag ₂ O	$\text{Zn} + \text{Ag}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \xrightleftharpoons[\text{充电}]{\text{放电}} 2\text{Ag} + \text{Zn(OH)}_2$	1.5	60~100	100~250	20~200
镉-银蓄电池	Cd	KOH	Ag ₂ O	$\text{Cd} + \text{Ag}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \xrightleftharpoons[\text{充电}]{\text{放电}} 2\text{Ag} + \text{Cd(OH)}_2$	1.1	50~100	80~150	300~2000

铅-酸蓄电池

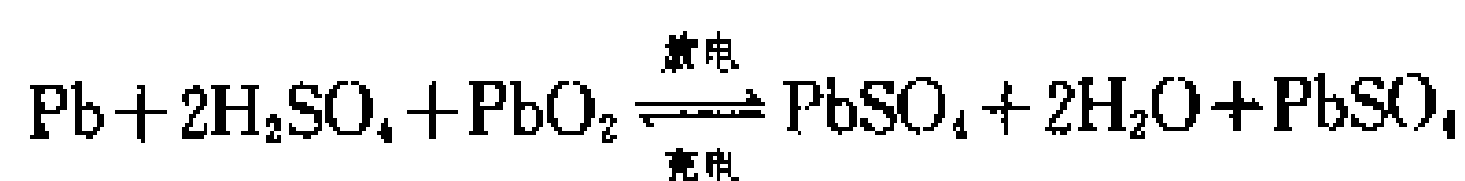
蓄电池的正、负极材料均为铅。正极活性物质为 PbO₂，负极活性物质为海绵状铅，电解液为硫酸。充、放电时的电极反应如下



(固体) (液体)



总反应



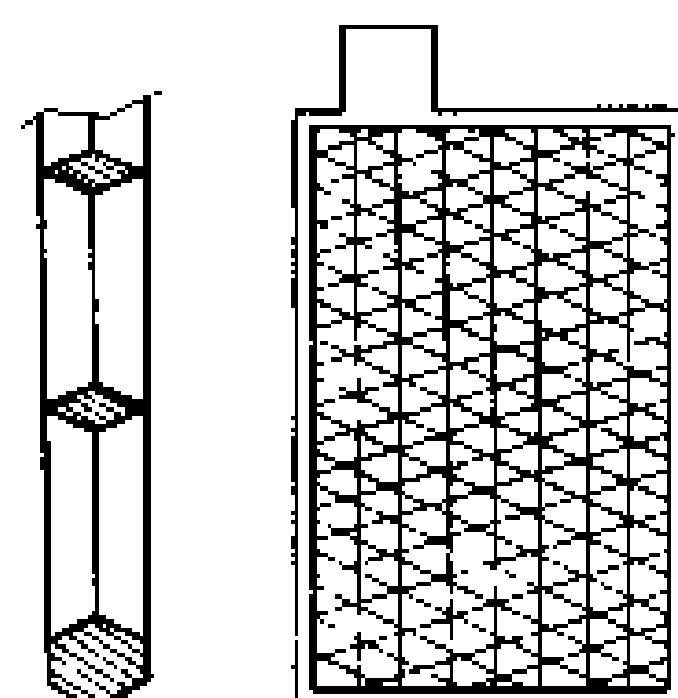
(负极) (正极) (正极) (负极)

结构 除正、负极和电解液之外，组成蓄电池的零部件还有由电池槽、盖、封口膏等组成的容器，防止极板短路并使其保持一定距离的隔板，以及为防沫、防爆而设的排气机构等。

在蓄电池槽中把若干片正、负极板互相交叉排列成组，两端都是负极板，两极板之间插入隔板。极板组或者固定在电池槽底部的鞍板上，或者悬挂在电池槽的上缘上。

(1) 极板：主要用于增加活性物质的表面积，种类繁多，主要有普朗特式、涂膏式、管式等。普朗特式极板是用电解法使纯铅表面生成活性物质 PbO₂，用作正极。涂膏式极板是把活性物质的膏状物填充到以铅或铅合金制成的板栅体上的极板（见图 1），可用作正极板或负极板。管式极板是用铅合金制的骨芯，穿过多孔性管的中心，在骨芯和管壁之间填满活性物质，制成棒状电极（见图 2），再用多根棒状电极并排构成板状电极，这种电极只能用作正极板。

(2) 隔板：以前多用木材作隔板，现在已被增强纤维、微孔橡胶、微孔合成树脂制成的隔板所代替。

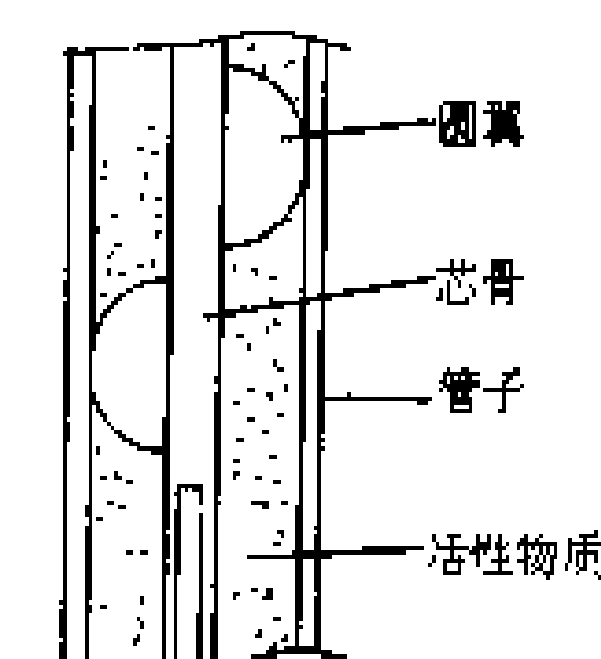


隔板应耐酸，其微孔应能防止铅的迁移，浸透性良好，有需要的机械强度，在使用期限内不老化、不变形等。

图 1 涂膏式极板剖面图

(3) 电解液：由硫酸和水配制而成。电解液中的杂质会降低蓄电池的性能，应用蒸馏水配制稀硫酸。在充电末期电解液的比重为 1.25~1.30。

(4) 电池槽、盖：常用的电池槽有玻璃槽、硬橡胶槽、沥青混合槽、合成树脂槽等。有一只电池的单槽和装有多只电池的复合槽。单槽多为大容量固定式蓄电池。复合槽多用于 4~24 V 的小型电池组。



除开放式的蓄电池外，一般都装有电池盖。盖上装有贯通接线柱和注液孔、排气孔等。

电池特性 主要包括电动势、充放电特性、容量、寿命、用途等。

电动势 平均值在 1.839~2.139 V 之间。硫酸浓度越高，电动势越高；当硫酸在其通常使用范围内时，温度越高，电池的开路电动势越高。

充、放电特性 以一定的电流充、放电时，电池的端电压、电解液的比重和温度等随时间所发生的变化通常用曲线表示。电站用铅酸蓄电池的充、放电特性曲线如图 3 所示。充电开始时，电压缓缓上升，接着，电

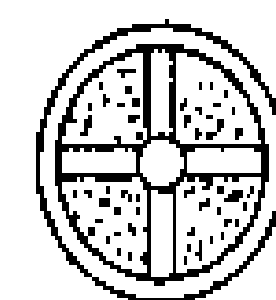


图 2 管式极板剖面图

压急剧上升。这时，水发生分解，在负极产生氢，在正极产生氧，单电池端电压约为 2.6 V。放电开始几分钟内，电压急骤下降，然后缓慢降低，最后迅速降低。缓慢降低的时间越长，平均电压越高，电池特性也越好。特性曲线受放电率、温度、电解液比重、电池构造等因素的影响而有很大的变化。

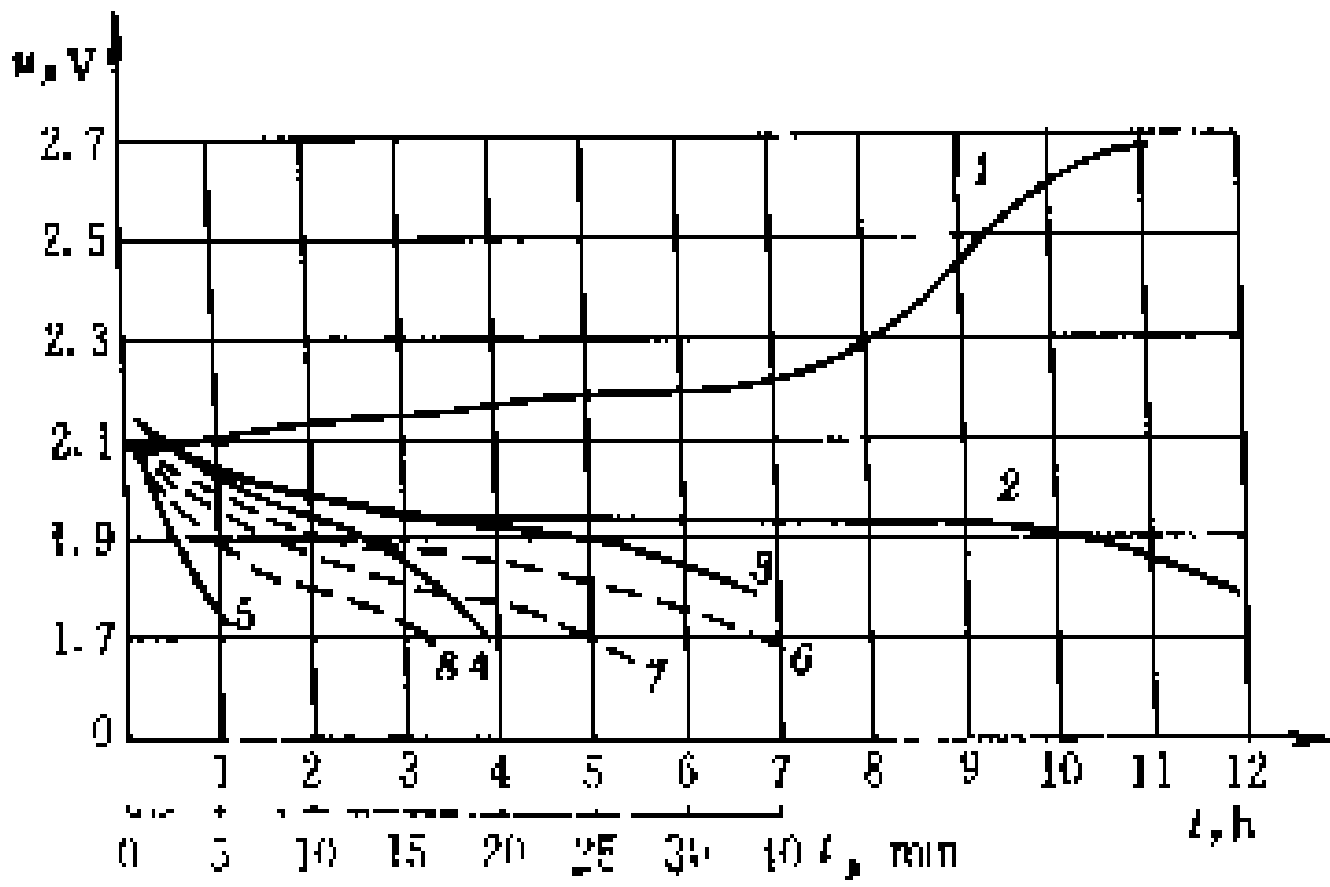


图 3 电站用铅酸蓄电池充、放电特性曲线 (GGF—300 型)

1—正常充电曲线；2, 3, 4, 5—分别为 30, 50, 70, 150A 放电曲线；6, 7, 8—分别为 180, 210, 240A 放电曲线；
t, h—曲线 1~5 用；t, min—曲线 6~8 用

容量 铅酸蓄电池的容量指蓄电池在完全充电状态放电到规定的放电终止电压时能够取出的电量，用安·时 (A·h) 或瓦·时 (W·h) 表示。蓄电池容量受放电电流强度和温度的影响，放电强度大、温度低则容量小。

固定用铅酸蓄电池的重量比能量约为 10~15 W·h/kg，电动车辆用的约为 20 W·h/kg，汽车用的约为 25~30 W·h/kg。放电率越大，温度越低，电池的重量比能量也越小。

表 3 铅酸蓄电池的用途和特征

电池分类	用途	特征
普朗特式	固定型(开放式、密闭式)用于电站、电信	适用于急放电。其寿命长、自放电小、重量比能量低、沉淀物多、正极板易弯
涂膏式	无玻璃丝棉 移动用、高压移动用、汽车用	重量比能量大，制造易，寿命较短
	有玻璃丝棉 固定型(密闭式)电动车辆、集鱼灯、船舶、汽车、摩托车、机动三轮车、列车、信号灯、矿山安全灯等用	寿命长、重量比能量大、耐震动、沉淀物少
管式	纤维 固定型(密闭式)电动车辆、移动设施、列车、矿山安全灯等	在反复深放电用法中寿命特别长、重量比能量大、耐震性好、沉淀物少

寿命 铅酸蓄电池的放电容量，在每一充、放电循环中都不一样。在使用一段时间之后，活性物质从极板上脱落，沉积在电池槽底部，经过一定时间，容量急速减少，达到寿命的终期。铅酸蓄电池以充、放电循环次数表示的寿命为 100~400 周期。

用途 各种类型铅酸蓄电池的用途见表 3。

碱性蓄电池

使用苛性钾等水溶液为电解液的一类蓄电池的总称。由负极活性物质铁、镉、锌及正极活性物质氢氧化镍、氧化银、氧(空气)可组成镉-镍、铁-镍、锌-银、镉-银、锌-空气蓄电池等多种碱性蓄电池。碱性蓄电池的放电特性、低温特性、寿命、完全密闭性等都优于铅酸蓄电池，但价格较贵。

碱性蓄电池正、负极的充、放电反应见表 4，各种碱性蓄电池充、放电反应见表 5。

表 4 正、负极的充、放电反应

电极	种类	充、放电反应
正极	氢氧化镍	$\text{NiOOH} + \text{H}_2\text{O} + \text{e} \xrightleftharpoons[\text{充电}]{\text{放电}} \text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{OH}^-$
	氧化银	$2\text{Ag}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Ag}_2\text{O} + 2\text{OH}^-$ $\text{Ag}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightleftharpoons 2\text{Ag} + 2\text{OH}^-$
	空气	$\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{HO}_2^- + \text{OH}^-$ $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e} \rightleftharpoons 4\text{OH}^-$
负极	铁镉锌	$\text{Fe} + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{OH})_2 + 2\text{e}$ $\text{Cd} + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{Cd}(\text{OH})_2 + 2\text{e}$ $\text{Zn} + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{Zn}(\text{OH})_2 + 2\text{e}$

碱性电解液在电池充、放电反应过程中不直接参与反应是碱性蓄电池的一大特征，是其电气特性、低温特性、寿命等优异的基本原因。

镉-镍蓄电池及铁-镍蓄电池 简称镉电池、铁电池，其负极活性物质分别为镉-铁，正极活性物质为镍。除负极活性物质不同外，两种蓄电池在很多方面都相似。

结构 从电池槽的形式，可分为开放式和密闭式两种。把在充电过程中正极产生的氧引到镉电极上使其消失，是制成完全密闭式镉-镍蓄电池的基础。

(1) 极板：铁-镍、镉-镍蓄电池的极板有管式、袋式、烧结式三种。管式极板只作正极用，在钢带上开有许多小孔，卷制成管，并在管中充填正极活性物质，多管并列装在镀镍钢制框架上即成为极板。袋式极板用作铁-镍蓄电池的负极板和镉-镍蓄电池的正极板，在薄钢带上打出很多针孔，镀镍后制成袋，充填活性物质，多袋并列装在镀镍钢框架上即成为极板。烧结式极板可作正极板或负极板使用，以镍网或多孔薄镍板或

表 5 碱性蓄电池充、放电反应

种 类	充、放电反应	开路电压 (V)
镉-镍 蓄电池	$2\text{NiO} + \text{Cd} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{Cd}(\text{OH})_2$	1.329
铁-镍 蓄电池	$2\text{NiOOH} + \text{Fe} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{Fe}(\text{OH})_2$	1.397
锌-银 蓄电池	$2\text{AgO} + \text{Zn} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ag}_2\text{O} + \text{Zn}(\text{OH})_2$	1.815
	$\text{Ag}_2\text{O} + \text{Zn} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{Ag} + \text{Zn}(\text{OH})_2$	1.589
镉-银 蓄电池	$2\text{AgO} + \text{Cd} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{Ag} + \text{Cd}(\text{OH})_2$	1.379
	$\text{Ag}_2\text{O} + \text{Cd} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{Ag} + \text{Cd}(\text{OH})_2$	1.153
锌-空气 蓄电池	$\text{O}_2 + 2\text{Zn} \rightleftharpoons 2\text{ZnO}$	1.646

不锈钢多孔薄板为基板，将镍、铜、铁等金属粉末烧结在基板上，即成烧结式极板。烧结式极板孔率及表面积大，导电性及机械强度好，已在各种镉-镍蓄电池中得到广泛应用。

(2) 隔板：多用微孔性尼龙、聚丙烯、聚乙烯醇等合成树脂薄膜制成。隔板应耐碱、电阻小、机械强度高而柔软，保持电解液的性能良好。烧结式碱性蓄电池对隔板的要求更为严格。

(3) 电解液：管式、袋式、烧结式极板蓄电池的电解液都是比重为 1.20~1.30 (20℃) 的苛性钾溶液。

(4) 电池槽：通常使用不锈钢、镀镍钢板制造大型电池槽，用尼龙、聚乙烯等高分子化合物制造小型电池槽。一般电池槽盖用高强镀镍钢板制造，盖上除接线柱外，还装有带自动阀的排气、注液栓。密闭式蓄电池的容器要有很高的机械强度，并设计有安全阀，防止电池内压力异常高时破坏电池。

电池特性 主要有充电特性、放电特性、温度特性、自放电特性等。

(1) 充电特性：铁-镍蓄电池开始充电时电压即可升到 1.6 V，同时产生氢气，升到 1.8 V 后变为恒定，充电也就结束。镉-镍蓄电池开始充电时电压可升到 1.4 V，在升到 1.5 V 以后仍缓缓上升，且不产生气体，充电效率很好。管式、袋式、烧结式极板的蓄电池的充电特性基本上是一样的。密闭式镉-镍蓄电池和同类的开放式电池的充电特性不同。充电时，在正极上产生的氧被负极消耗掉，在 1.5 V 就能建立起电化学上的平衡、稳定状态。不论哪一种电池，其充电特性都随充电电流、温度条件等变化。图 4 为镉-镍、铁-镍蓄电池的充、放电特性的比较。

(2) 放电特性：碱性蓄电池的容量随活性物质质量及其利用率、放电率、电解液浓度、温度条件的不同而不同。正极活性物质的利用率约为 70%，镉负极活性

物质的利用率约为 75%~85%，铁负极活性物质的利用率较镉负极的低。烧结式电极的电池，其活性物质利用率，正极为 90%，负极为 65%~75%。密闭式电池的电解液量少，内阻较大，是其放电特性稍差的原因。

与所有电池一样，大电流放电都将降低电池的放电容量。

(3) 温度特性：一般说来，温度降低时，电池内阻增大，电解液粘度增加，降低了离子扩散速度，电池容量也随之降低。温度高时则相反。铁-镍蓄电池在 -20℃ 时的容量仅为 25℃ 时容量的 10%，镉-镍蓄电池的容量在相同温度条件下约为 70%。因此，铁-镍蓄电池不能在低温下使用，镉-镍蓄电池可以在 -40~50℃ 的范围

内使用。烧结式电极的电池的高、低温特性优异，可在 -50~75℃ 的范围内使用。密闭式镉-镍蓄电池的温度特性优异，可在 -40~60℃ 的范围内使用。

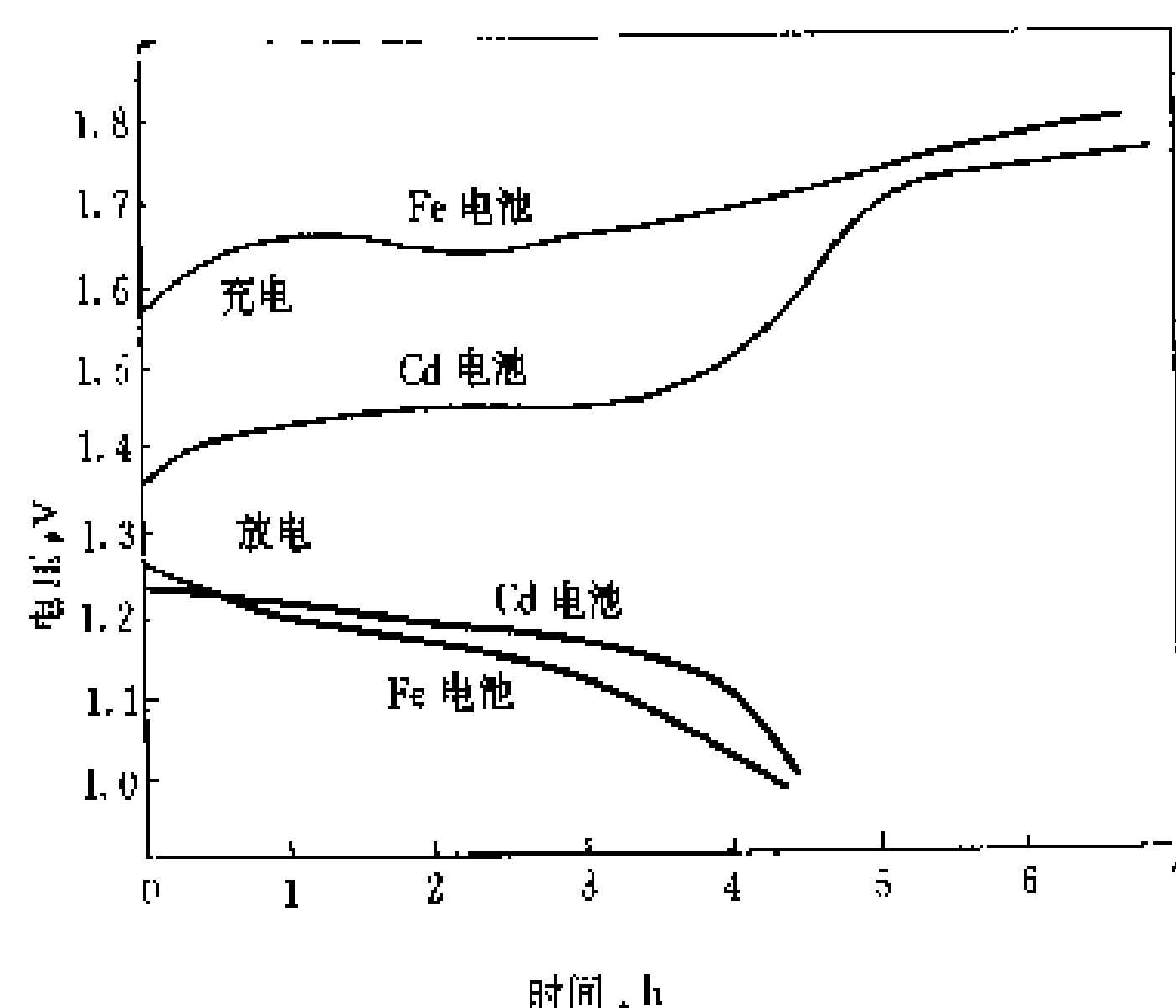


图 4 镉-镍蓄电池和铁-镍蓄电池的充、放电特性比较

(4) 自放电：电极不稳定，电解液中杂质在电极上发生的局部反应称为自放电。它可引起电池容量的下降。温度升高，自放电随之增大。碱性蓄电池自放电很小，可以长期放置。铁-镍蓄电池的稳定性较镉-镍蓄电池的差，其自放电要显著得多。镉电池在 -20℃ 以下几乎不发生自放电，但在 25℃ 时，一年后剩余容量降到原容量的 80%。密闭式镉-镍蓄电池的自放电量较开放型的要大，每日约 0.7%。

寿命 碱性蓄电池在充、放电时，电解液不参与反应，电池机械强度、电气强度大，因此寿命很长。镉-镍蓄电池的寿命为 500~2000 周期 (8~25 年)，铁-镍蓄电池的寿命为 2000~4000 周期 (7~25 年)。烧结式电极电池的寿命在 2000 周期以上 (10 年)，密闭式镉-镍蓄电池的寿命在 300 周期以上，是最短的。

用途 碱性蓄电池耐震性强、电气强度高，可以在

苛刻的条件下长期使用。

管式极板电池寿命最长,适用于缓放电场合;袋式电极的电池广泛用于缓放电的一切情况。这两类电池多用于:列车用电源,汽车、汽油机、柴油机的起动,电动车辆的动力电源,矿山安全灯电源,固定用电源,应急电源,通信器械用电源等。

烧结式电极的电池高放电率特性好、低温性能优越,使用范围广泛。标准型的多用于:摄影机、器械操作备用电源、发动机起动电源、变换器电源。大电流放电电池多用于:变换器电源、发动机起动电源、器械操作备用电源、瞬时负荷电焊机电源。

密闭式镉-镍蓄电池见图5,其特性优异,不产生

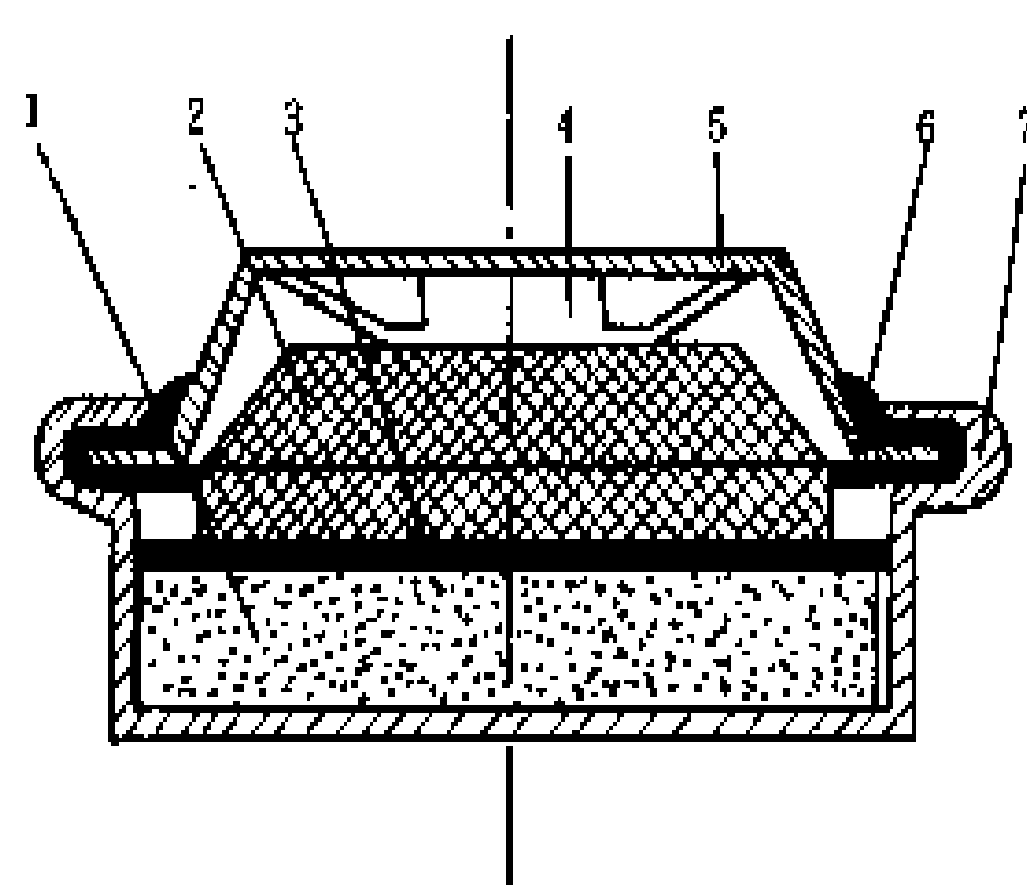


图5 密闭式扁平镉-镍蓄电池的剖面图

1—正极;2—负极;3—隔膜;4—弹簧;5—盖;6—绝缘环;7—容器外壳

气体,不漏液,维修保养简便,因而用途极广,主要用于电动牙刷、电动剃须刀、真空吸尘器、电动工具、剪刀、手提式电灯、应急照明灯、紧急导航灯、晶体管收音机、携带式电视接收机、磁带录音机、助听器、

无线电收发报机、手提式摄像机、打字机、袖珍电子计算机、人造卫星、频闪观测器、放映机、火灾报警器等。

锌-银蓄电池 负极活性物质为锌,正极活性物质为氧化银,电解液为30%~45%苛性钾水溶液组成的碱性蓄电池。锌-银、镉-银蓄电池又总称银电池,其化学反应式见表4及表5。

结构 正极为0.5 mm厚的、孔率为60%的微孔性银,负极板为附着在银丝或银网上的膏状海绵状锌或氧化锌。隔板必须使用孔径非常小的材料,常用赛璐玢纸那样的再生纤维素膜、离子交换树脂膜、辐射聚乙烯膜等。在全密闭型电池中电解液量很少,仅能浸湿极板和隔板。电池槽一般

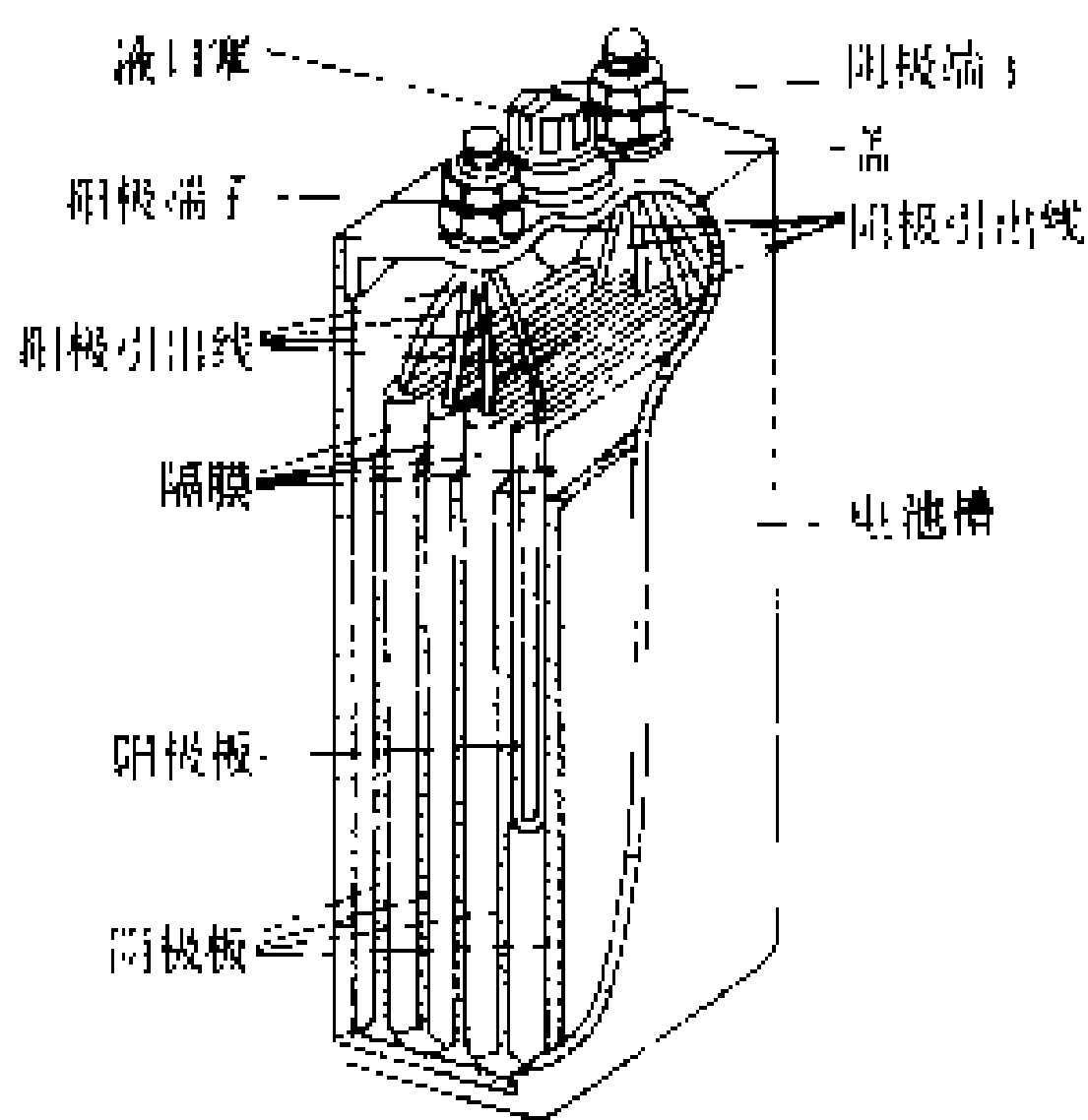


图6 锌-银蓄电池结构图

使用金属或塑料制作。锌-银蓄电池的结构见图6。

电池特性 锌-银蓄电池的充、放电特性见图7及图8。电池放电时,银正极逐渐变成金属银,正极电阻减少,因此,即使高放电率放电,其端电压也能保持一定。锌-银蓄电池的电压、容量、寿命和使用范围等见表6。

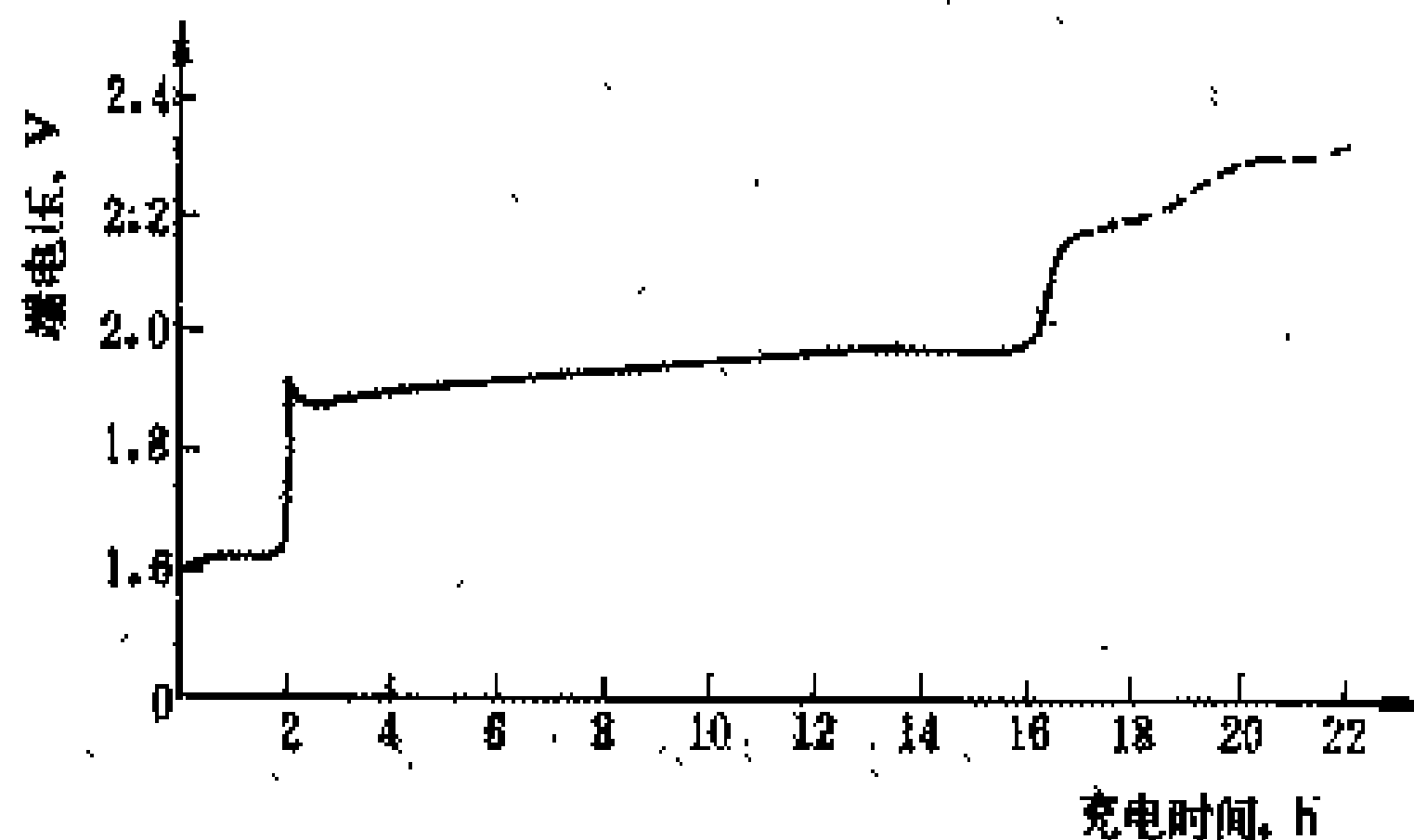


图7 锌-银蓄电池充电特性曲线

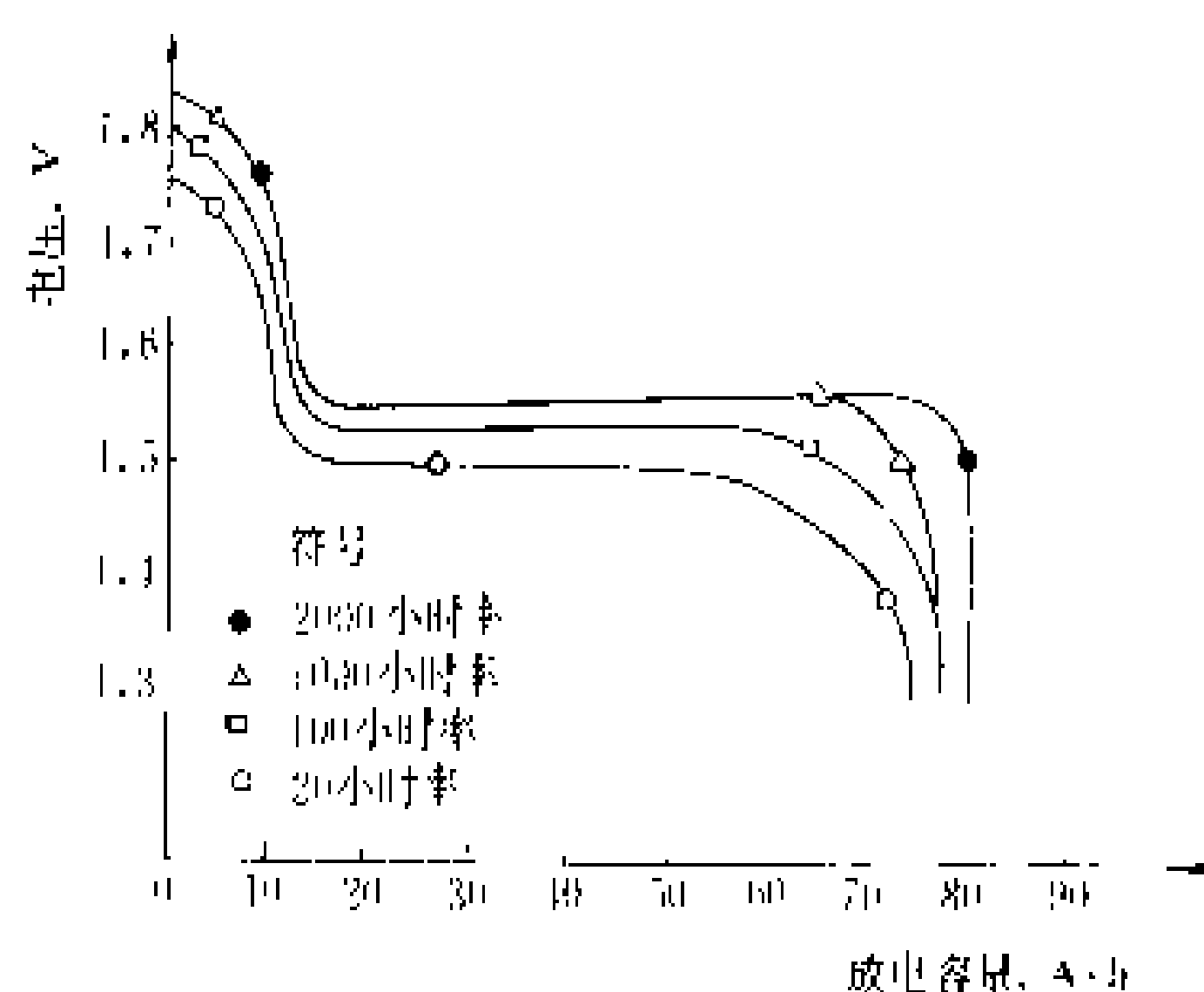


图8 锌-银密闭式蓄电池放电特性曲线 (25℃)

从重量比能量、体积比能量等方面来看,锌-银电池是实用二次电池之冠。

镉-银蓄电池 负极活性物质为镉,正极活性物质为氧化银,电解液为30%~45%苛性钾水溶液组成的碱性蓄电池。镉代替了锌-银蓄电池中的锌,使电池寿命延长,自放电减少。在全放电的情况下,寿命可达300~500周期,在部分放电的情况下,寿命可达3000周期,不论在充电或放电状态都可长期保存。电池的化学反应见表4及表5。

结构 正极为0.5 mm厚的、孔率为60%的微孔性银,负极板与镉-镍蓄电池的负极板相同,有烧结式和涂膏式两种。烧结式极板是把碳基镉粉在镍网上烧结、活化而成。涂膏式极板是把镉粉、氧化镉、氢氧化镉的混合物填涂在银或镍的丝网板栅上制成的。隔板是提高电池性能和延长电池寿命的重要零件,为保持电解液多用尼龙、聚丙烯、再生纤维等,为防止氧化银移向负极,则常用赛璐玢、辐射聚乙烯、离子交换膜等。电池槽多用ABS树脂、混合型的共聚合树脂等刚质材料制作。

大提高了放电电流

密度，而且克服了锌-空气一次电池的碳电极在充电时丧失机械强度的问题。负极（锌板）采用多孔性锌，克服了一次电池铸造锌电极在充电时产生的难以恢复的树枝状锌的问题。此外，还增设了一次

电池中所没有的、以氧化铝或硅制成的、锌离子不能透过的隔板，从而提高了电池的性能。电解液固定式锌-空气蓄电池的结构见图 9。其特点是：①多孔性锌

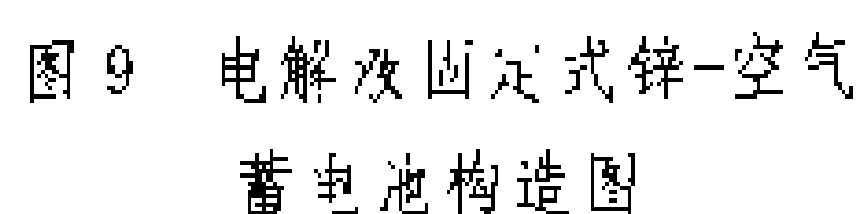
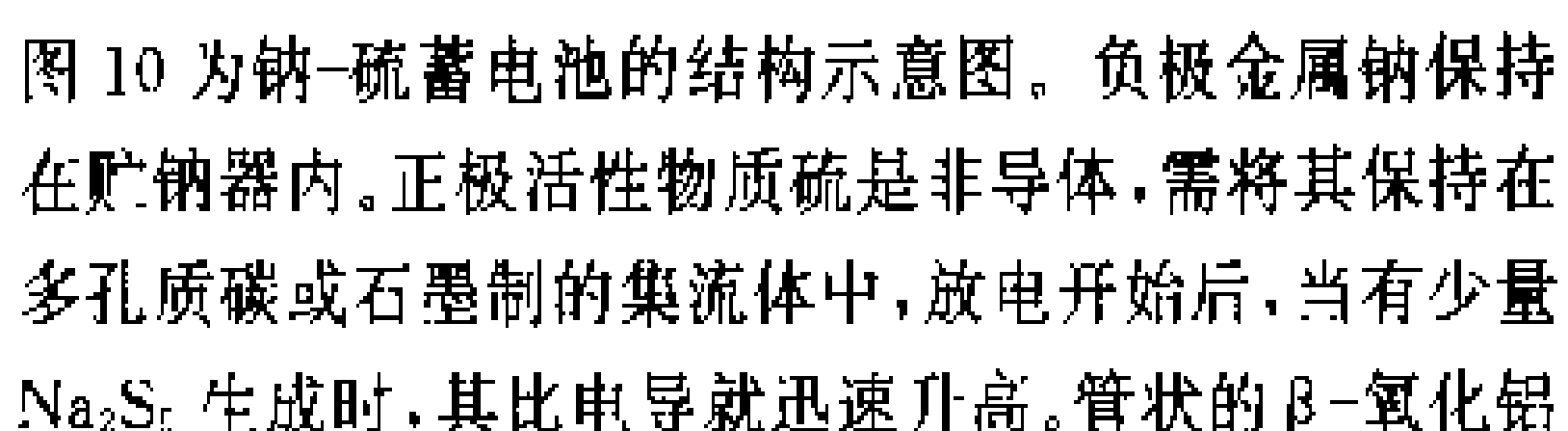
负极被多孔性隔板

包围，不会在放电时在电解液中消耗掉；②电解液吸附在多孔性隔板和多孔性锌负极上；③利用空气中的氧作氧化剂，空气极带有导电金属网和催化剂，可以进行充、放电；④设置了隔板，防止充电时产生树枝状结晶锌在正极上生长造

成電池內部短路。

锌-空气电池有功率高、比能量大、使用方便、价格低廉的优点。

一种使用固体电解质的高能蓄电池，其负极活性物质为熔融钠，正极活性物质为熔融硫及多硫化钠 (Na_2S_x)，固体电解质为 β -氧化铝。 β -氧化铝是 Al_2O_3 和 Na_2O 的化合物，对钠离子表现出高导电性，但硫却不能通过。钠-硫蓄电池的工作温度为 $250\sim 350^\circ\text{C}$ ，其充、放电反应可用下式表示



固体电解质,把管内的钠和管状的硫分隔开,共同分装
在不锈钢电池槽
中。多个单电池并
联时可共用一个贮
钠器。

由于使用固体
电解质,钠-硫蓄电
池的电流效率几乎
为 100%,重量比
能量已经达到 200
~300 W·h/kg,
相当于铅酸蓄电池
重量比能量的 5~
10 倍,充、放电寿
命可达 2000 个深
放电周期。

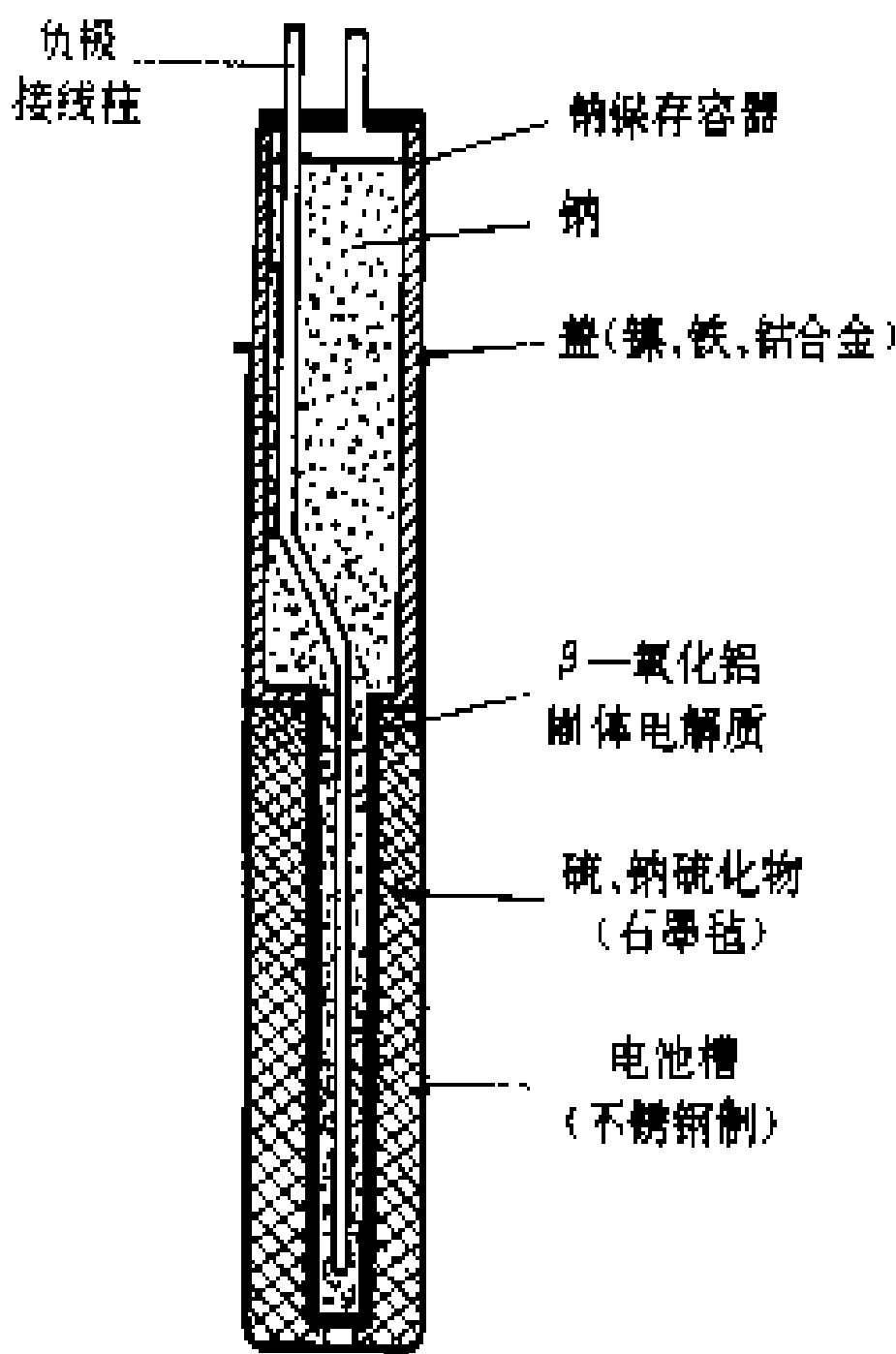
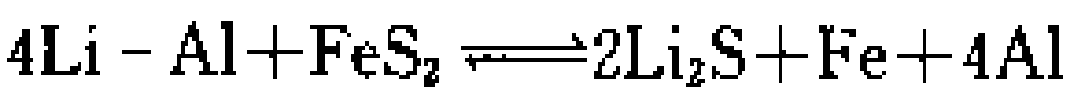


图 10 钠-硫蓄电池
构造示意图

熔融盐蓄电池

以熔融盐为电解质的蓄电池。电池工作温度在
300~600℃之间,故又称高温电池。
早期研究的熔融盐蓄电池是锂-硫族电池,而进展
最快的是锂铝合金-硫化铁电池。这类电池的比能量
高,可用较大的功率放电,是最有希望的汽车动力电池
和储能电池。

锂铝合金-二硫化铁(Li-Al/FeS₂)电池的电池总
反应为



其平均电动势为 1.55 V。

锂铝合金负极一般使用含 50% (摩尔) 锂的锂铝
合金粉末灌入兼作集流体的多孔金属结构中。正极所
用二硫化铁的导电性低,需渗入铁粉或碳粉以增加其
导电性能,用多孔石墨、多碳泡沫体、铝、钨等作集流
体。电解质为 LiCl-KCl 共熔体,其熔点为 352℃。隔
板除起隔离正、负极,保持电解质的作用外,还要求在
450℃时有稳定性,能抗锂铝合金和二硫化铁的侵蚀,
现多用氧化钨石棉纸、氮化硼毡、氧化钨毡。

锂铝合金-二硫化铁蓄电池的比能量可达 174
W·h/kg,比功率可达 248 W/kg。

历史和发展

蓄电池的历史应以 1859 年法国 G. 普朗特
(Gaston Planté)发明铅酸蓄电池为开端。百多年来,经
不断改进,这种电池仍然是多种蓄电池中用途最广、价
格最低廉的,有蓄电池之王的美称。碱性蓄电池是以
1901 年美国 T. A. 爱迪生 (Thomas Alva Edison) 发
明的铁-镍蓄电池为开端。瑞典 W. 琼格纳

(W. Jungner) 发明的镉-镍蓄电池,虽早于铁-镍蓄电
池,但实用化较晚,只是在第二次世界大战前后,几经
改进才得到发展,现在已基本上代替了铁-镍蓄电池,
成为最有代表性的碱性蓄电池。为满足高科技、军工等
方面发展的需要,很多新型蓄电池也在生产和研制中。

多年来,蓄电池的研究改进一直在两个方面努力,
一是提高性能,包括重量比能量、体积比能量、寿命等;
二是使用简便,如密封化等。近年来,内燃机汽车排气
引起的公害已成为世界性问题,迫使人们重新考虑研
制新型的、比能量高的、能快速充电的汽车驱动用蓄电
池。

参考书目

王德志主编. 蓄电池—原理及使用. 北京: 中国铁
道出版社, 1989

(杨启元)

xuanguang

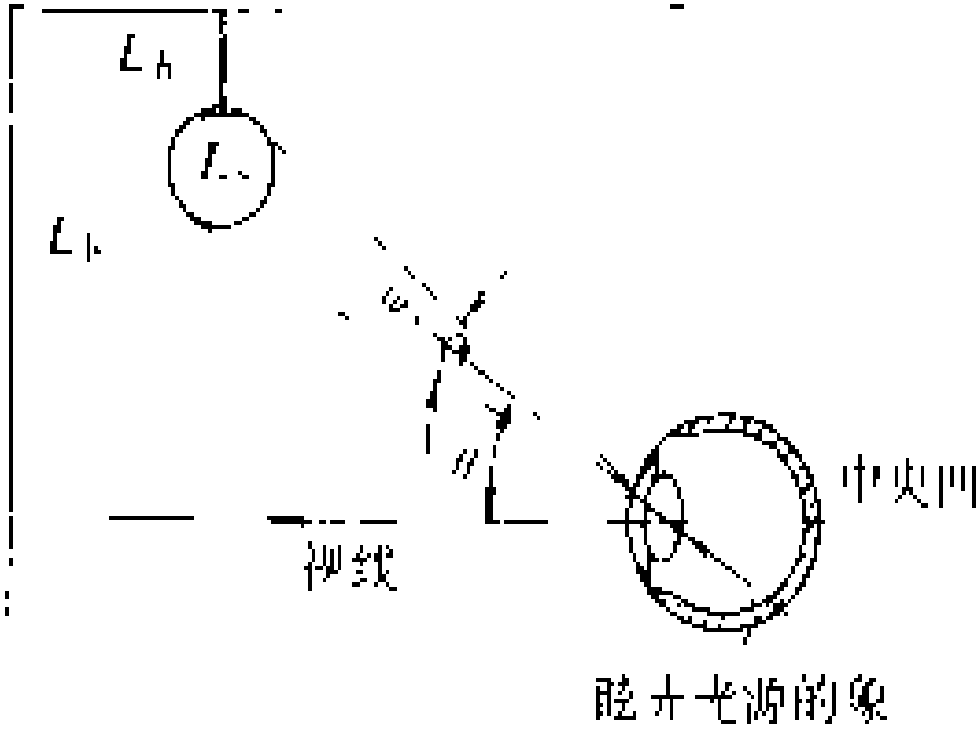
眩光 (glare) 由于在空间上或者时间上存在
不适当的光源亮度分布、亮度范围或极端亮度对比等,
致使视觉不舒适或存在着降低视觉重要对象的光源条
件的现象。引起视觉不舒适感的眩光称为不舒适眩光;
降低视觉工效和可见度的眩光称为失能眩光;在一定
时间内完全看不到视觉对象的强烈的眩光称为失明眩
光。室内照明设计主要防止不舒适眩光的干扰,室外照
明设计主要防止失能眩光对可见度的损害。就眩光的
成因而言,还可将眩光分为直接眩光和反射眩光。直接
眩光是由灯、灯具和窗子等高亮度的光源直接引起的;
反射眩光是从反射比高的表面,特别是象光亮的油漆、
光泽的金属这类镜反射表面反射的亮度造成的。眩光
感觉的程度取决于眩目光源的亮度、大小、位置、光源
数量及眼睛的适应亮度水平等因素。

单个光源产生的不舒适眩光感觉与外界物理因素
的关系,用下式表达 (见图)

$$G = \frac{L_s \omega_s}{L_b f(\theta)}$$

式中 G 为表示眩光主观感觉的量值,又称眩光常数; L_s
为光源在观测方向上的亮度, cd/m²; ω_s 为光源对观测
者眼睛形成的立

体角, sr; L_b 为
观测者视野内的
综合亮度 (背景
亮度), cd/m²;
f(θ) 为光源对视
线形成的偏角 θ
的一个复合函
数, θ 小于 27° 会



影响眩光的因素



产生强烈眩光，大于 45°为微弱的眩光区； a 、 b 、 c 是加权指数，各国研究人员实验结果不同，中国研究报告的数字是： $a=1$ ， $b=0.63$ ， $c=0.28$ 。多个光源产生的总眩光效应为单个光源的眩光效应之和。

当高亮度的光源靠近作业时，常会出现失能眩光。失能眩光的程度可以借助等效光幕亮度 L_v 定量表示。 L_v 是一个假想的均匀视野亮度，它被叠加在作业上，使作业可见度下降，其降低的量与出现失能眩光时可见度的降低量相同，即

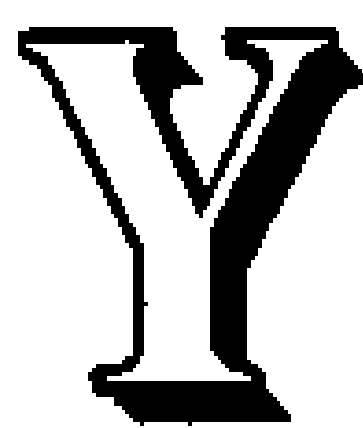
$$L_v = 10 \sum_n \frac{E_n}{\theta_n^2}$$

式中 L_v 为等效光幕亮度， cd/m^2 ； E_n 是第 n 个光源在垂直于视线的平面上眼睛处产生的照度， lx ； θ 为视线同第 n 个光源之间的夹角，“°”。上式适用于 θ_n 为 $1.5^\circ \sim 60^\circ$ 。这时作业的有效对比为

$$C_e = \left| \frac{(L_i + L_v) - (L_b + L_v)}{(L_b + L_v)} \right| = \left| \frac{L_i - L_b}{L_b + L_v} \right|$$

式中 C_e 为有效作业对比； L_i 为作业细节的亮度， cd/m^2 ； L_b 为作业背景的亮度， cd/m^2 ； L_v 为等效光幕亮度， cd/m^2 。

（廖庆旋）



度为目的的电气照明。(见照明分类)

一般照明的灯具为均匀分散设置,与室内机器或设备的配置无关。特点是作业面照度均匀,能保证整个工作面都有足够的照度,也能将墙壁和顶棚照亮,使周围环境具有一定的亮度,为整个室内提供良好的视觉环境。

一般照明的灯具布置是按照灯具的配光特性给出最大允许的灯具安装间距 S 和高度 H 之比,简称距高比 (S/H),小于这个比值布置灯具,能保证照度的均匀性,使工作面上最大、最小照度与平均照度相比,差值小于 $1/6$ 。配置灯具,低矮房间用宽配光灯具,高大房间用窄配光灯具。直接型照明灯具的最大允许距高比和配光的关系如下

宽配光 $S/H=1.5\sim 2.5$;

中配光 $S/H=0.8\sim 1.5$;

窄配光 $S/H=0.5\sim 1.0$ 。

一般照明的照度计算通常是采用利用系数法。

按照灯具的安装方法,一般照明可分为明装式照明和建筑化暗装式照明两种。

明装式照明 指灯具装在建筑物的表面上,可以从顶棚上吊下或吸顶安装。这种方式顶棚较亮,空间照度高,舒适感好。

建筑化暗装式照明 指把灯具暗装于天棚或墙内,与建筑构造一体化的照明形式。当它作为一般照明方式使用时具有较少的眩光,室内空间的开阔舒畅感好。它的缺点是顶棚较暗,光的利用率较低,维护管理费用较高。常见的建筑化暗装式照明主要有光束照明、隐蔽形照明、嵌入式照明和发光天棚等,如图所示。

建筑化暗装式照明

- (a) 光束照明; (b) 隐蔽形照明; (c) 嵌入式照明;
(d) 发光天棚

光束照明 如图(a)所示,用扩散性材料制成梁的形式,内装荧光灯。这是早在20世纪20~30年代就有的一种照明形式。与嵌入式照明相比,天棚面直接被光照射,发光面对比较小。

yahuhan

氩弧焊 (argon-arc welding) 用氩气作保护气体的气体保护电弧焊。(见气体保护电弧焊)

yanyulu

盐浴炉 (salt bath furnace) 见电热浴炉。

yangji yanghua

阳极氧化 (anodizing) 以某种金属(主要是铝)制件为阳极,在适宜的电解液中进行电解,使制件表面形成无机氧化物薄膜的过程。金属氧化物薄膜有耐腐蚀、耐磨、绝缘等性能,可作金属的保护层或涂漆的底层。氧化物薄膜还可以吸附多种有机和无机染料,使金属制品表面呈现鲜艳的色彩,起装饰作用。有色金属铝、镁及其合金都可进行阳极氧化处理,铝的氧化物薄膜防腐性最好,广泛用于飞机、汽车、电子电器、仪器仪表的零部件以及日用品和工艺品等的表面处理。

铝的阳极氧化是以铝制件为阳极,在酸性溶液中电解,在阳极表面生成附着牢固的氧化铝薄膜。随着氧化铝膜厚度的不断增加,阳极电阻不断增大,电流逐渐减小,可用提高电压的办法增大电流,使氧化铝膜继续增厚,直至达到所需要的厚度。根据用途不同,膜厚一般在 $0.5\sim 250\mu\text{m}$ 之间。生成的氧化铝膜是微孔性膜,孔径 $0.015\sim 0.04\mu\text{m}$,每 $10\mu\text{m}^2$ 约有 $60\sim 800$ 个孔。对微孔性膜要在 $0.04\sim 0.05\text{MPa}$ 压力的水蒸气中进行封孔处理。由于水合作用以及体积增加,使氧化铝膜成为耐腐蚀、无针孔、稳定的保护膜。氧化铝膜是绝缘的,如需作成导电部件,可在需要导电的局部,在阳极处理前涂上保护剂层,即可得到导电部分。

(马荫华)

yiban zhaoming

一般照明 (general lighting) 不考虑特殊局部的需要,以照亮整个室内并使被照面获得均匀照

隐蔽形照明 又称暗槽灯,是将天棚、墙壁、梁的交接处装设照明灯。眼睛看不到灯具,它属于反射式间接照明。这种照明方式的光线分布不易均匀,照明效率较低,但空间舒适感好,见图(b)。

嵌入式照明 将灯具装在顶棚面内,灯下安装扩散板或格栅所形成的照明。由于灯具保护角的作用使接近水平的光减少,眩光较少,缺点是发光面与顶棚之间的亮度对比较大,见图(c)。

发光天棚 将光源均匀布置在顶棚上,下面安装有格栅或扩散透光材料所形成的照明,见图(d)。格栅式发光天棚的特点是室内照明均匀度高,当视线在保护角之内看天棚亮度比地面和家具表面亮度低,但是顶棚容易污染,而且如果采用乳白玻璃板式发光天棚又常感到亮度不足。当作业面照度达到1000~2000 lx时,荧光灯数量多,顶棚内灯的散热问题较突出。

(赵振民)

yiyong dianzi qiju

医用电子器具 (medical electrical equipment)

在医学临床和科研中使用的各种电子仪器和设备。随着工程技术的发展,电子技术已渗透到医学的各个领域,如预防医学、医用诊断、临床治疗、康复保健等。近年来,电子技术已逐渐应用于中国的传统医学领域,如电针、电子穴位经络探测和治疗装置等。对医用电子器具的基本要求是使用安全、性能可靠,同时应当不给或尽可能少给人带来损害和不便。

在预防方面,有用于消毒、改善环境、防止感染的各种装置。如紫外灯、空气负离子发生器、空气清洁剂、防褥疮床垫等。

在诊断方面,按处理信息的不同种类可分为生理信息诊断装置如心电图记录仪、脑电图记录仪、电子血压计、血流量计、肠鸣音分析仪等;生化信息诊断装置如血-气分析仪等;影像装置如X射线透视机、摄片机、数字减影血管造影仪、计算机X射线断层扫描仪(CT)等;超声诊断装置如B型超声诊断仪、超声心动图仪、超声多普勒等;同位素成像装置如Co⁶⁰、发射CT。此外,其他借助成影源的装置尚有核磁共振成像诊断仪,重离子照像,电子、质子成像以及在生物科学和医学研究中应用的电子显微镜等。

在治疗方面有高频电刀、体内和体外的外搏装置、心脏起搏器、体外碎石机等。

在康复保健方面有针对不同残障的电子轮椅、电子手杖、助听器、人工喉、电子针灸按摩器等。

(周 爽)

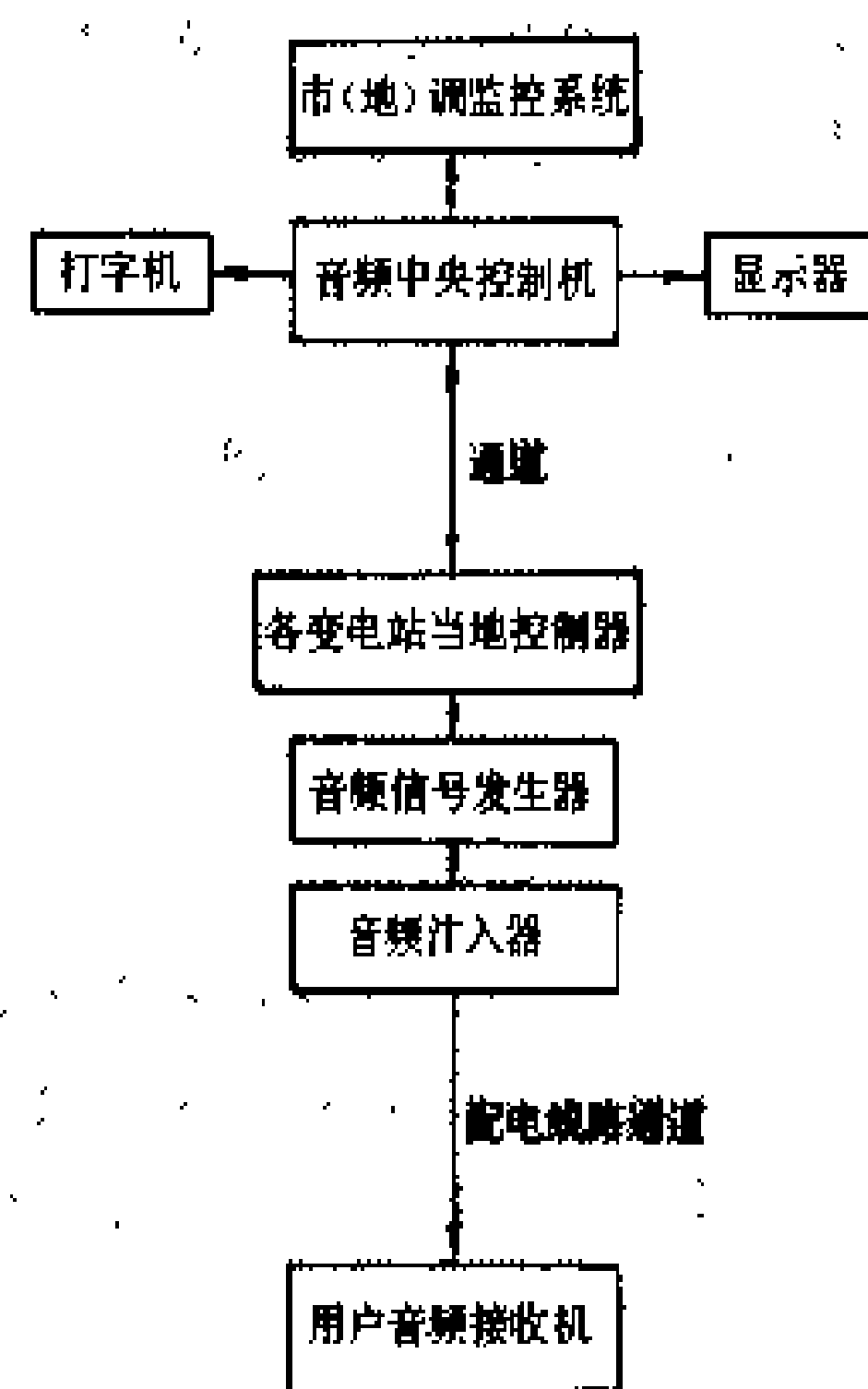
yibu diandongji

异步电动机 (asynchronous motor) 见感应电动机。

yinpin dianli fuhe kongzhi zhuangzhi

音频电力负荷控制装置 (ripple control system)

在输送电力的线路上耦合音频(中国台湾地区称为涟波)信号,借以监控用户电力负荷的集中型电力负荷控制装置(见电力负荷控制装置)。它是国际通用的用电负荷管理的技术手段之一。该装置由在市(地)电力系统监控中心装设的中央控制机,



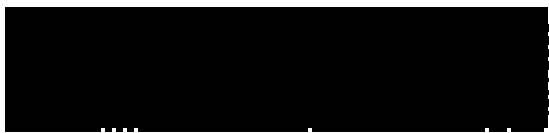
音频电力负荷控制系统框图

在电力系统向用户供电的各变电站内安装的当地控制器、音频信号发生器及相应的耦合设备,在被监控的用户端安装的音频电力控制接收机等组成。中央控制机根据用电负荷管理的需要,发出控制命令,经通道(有线或无线)传送到安装在电力系统各变电站的当地控制

器。当地控制器有两种控制方式,一是把接收的信号转换成相应的控制信号,经音频信号发生器转换成音频信号,通过向用户输送电力的配电线路将信号传送到用户处的音频电力控制接收机,以控制用户的不同配电线路或电气设备;另一是由当地控制器独立发控制命令来控制用户的不同配电线路或电气设备。其控制系统框图见图。

音频电力负荷控制装置在国际上通常用于控制定时低电价供电的电热水器、空调器、农田排灌等的供电时间,操作补偿电容器,切换分时计量电能表等,在中国主要用于执行计划用电的集中监控。其优点是输送距离较长,衰减小(与载波电力负荷控制装置比较),不易受外界电磁波干扰(与无线电电力负荷控制装置比较),可靠性较高,缺点是发射装置数量多、造价高,尤其是应用于执行计划用电,需要反馈信息的双向监控时,需要在用户接收端也增设音频发生器和耦合设备,因而总造价昂贵,限制了该装置在双向音频控制领域的发展。

音频电力负荷控制装置是从20世纪30年代末40年代初在欧洲发展起来的。中国于20世纪70年代



开始引进该装置，并陆续装于北京、济南等几个城市；20 世纪 80 年代根据计划用电工作的需要在消化、吸收这些引进装置的基础上，试制新的装置，增加了新的功能，研制出适于计划用电监控需要的音频电力负荷控制装置，现已投入运行。

(曲 涛 顾嘉来)

yinpin zhaoming kongzhi

音频照明控制 (audio lighting controlling)

指利用音乐、歌声或其他声响幅度的高低或频谱分布控制一个或一组半导体开关器件或继电器，来实现对光源开关、照度和色调的调节。通常称具有这种功能的开关称为声控开关，它主要用于舞台、舞厅、俱乐部、广告宣传、音频彩灯喷泉、音乐花灯，以制造某种艺术效果，烘托娱乐气氛；或用于家庭、楼道、库房的照明。

在扩音技术发展的基础上，音频控制照明的发展较早，但由于当时人们缺乏音乐欣赏与光线色彩结合在一起的意识，只是利用声音对照明光源进行简单的开关控制。随着人们在艺术欣赏方面要求的不断提高，将音乐彩色喷泉与舞台灯光系统有机地结合在一起，创造出了声光一体的艺术效果，使得音频照明控制进入了一个崭新的阶段。

作为音频照明控制的扩展，人们成功地研制出超声波和次声波遥控开关，其控制原理与音频控制类同，可用于家庭、库房以及楼堂馆所的照明控制。

音频照明控制有开关型、延时型、调光型三种类型。根据控制方式不同，音频照明控制分有线控制和无线控制两种，又有群控和单控之分。

(1) 开关型音频照明控制：电子技术的发展，使得声控技术的集成化越来越高。声控集成电路一般由音频放大、延时整形、选频、触发、驱动五部分组成。简单的开关电路如图 1 所示，它是用击掌声或口哨声来控制光源点亮与熄灭的。

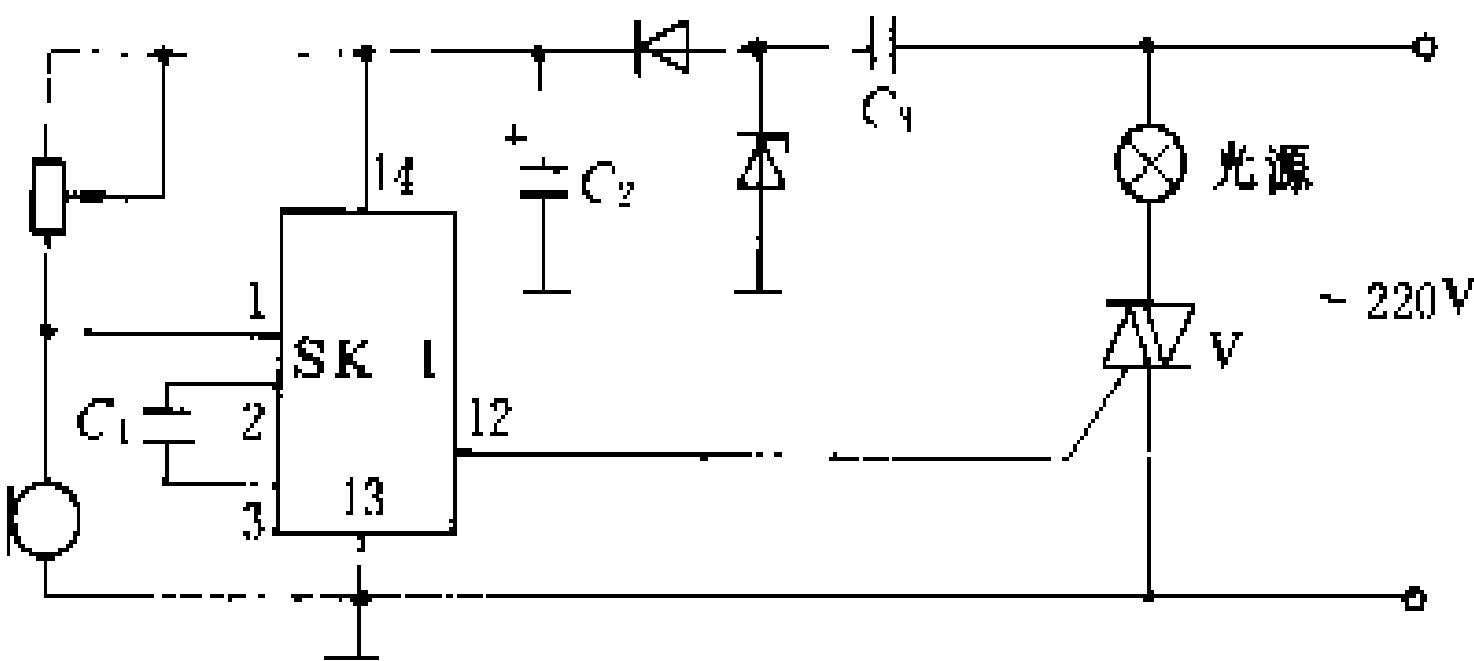


图 1 开关型声控电路

(2) 延时型音频照明控制：它是利用声源点亮电灯，而经过电子线路的延时后，电灯自熄。图 2 所示是一个用分离元件实现的，用脚步声点亮光源、延时后自熄灭的开关电路图，改变电容 C₃ 的数值，可调整

延时时间的长短。

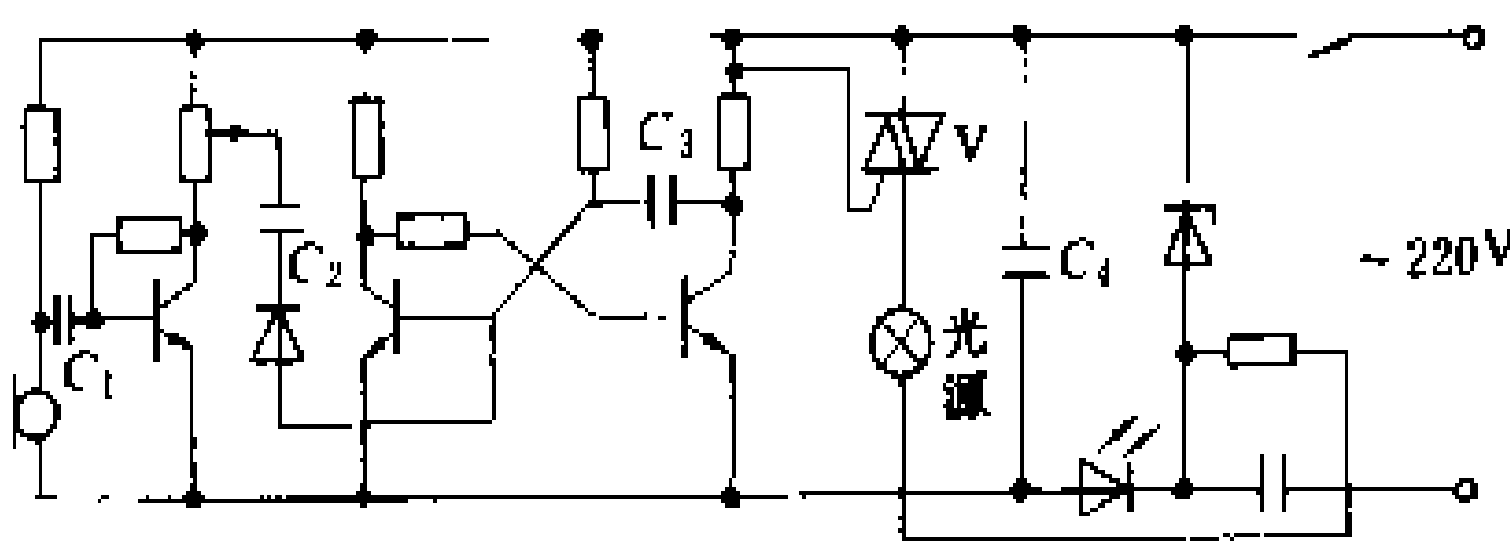


图 2 延时型声控开关电路

(3) 调光型音频照明控制：图 3 所示是一个灯光亮暗可随声音强弱而相应变化的声控调光开关原理图。声音的强弱通过话筒 M 转换成音频信号，再通过电子线路，改变双向晶闸管的导通角，控制灯光亮暗，达到声控调光之目的。这种灯光变幻，通常被称为声控彩灯，或音乐彩灯。

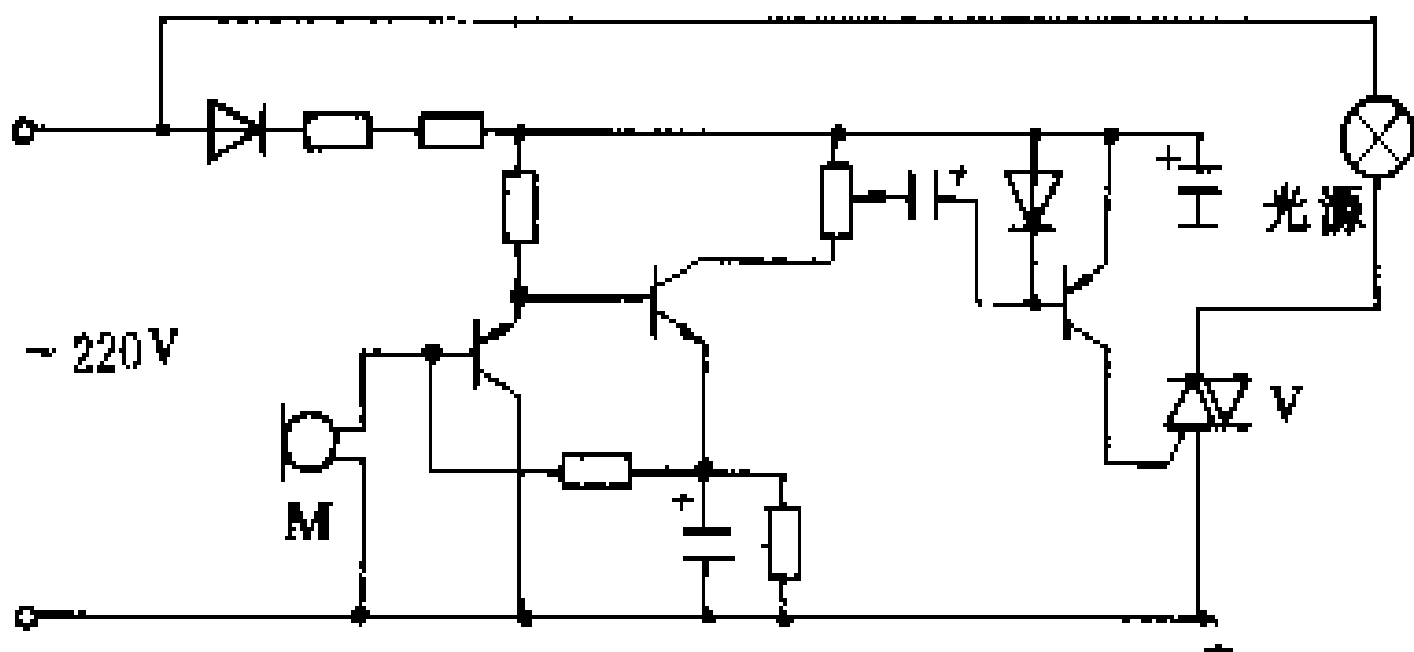


图 3 调光型声控电路

(4) 有线音频照明控制：是将音频信号通过音频传感器，用导线连接，输入给放大器，然后经分频器分隔出不同的声音幅度或频谱脉冲，通过脉冲分配器来控制光源的开关或明暗的调节。控制原理框图如图 4 所示。

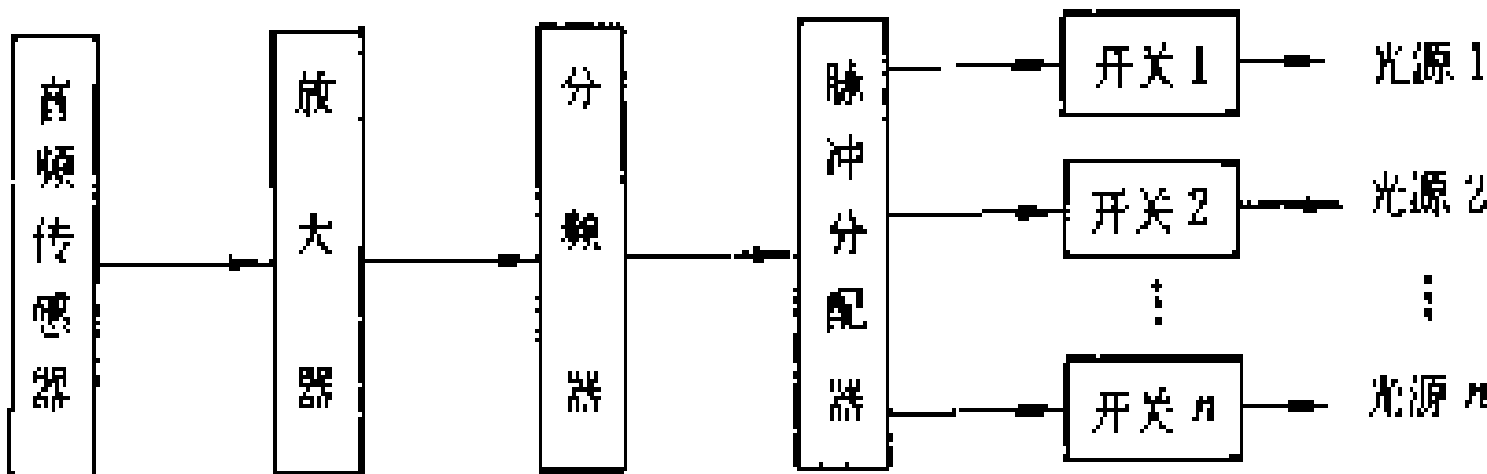


图 4 有线音频照明控制原理框图

(5) 无线音频照明控制：是由发射机、接收机、脉冲分配器和控制开关组成。原理框图如图 5 所示。

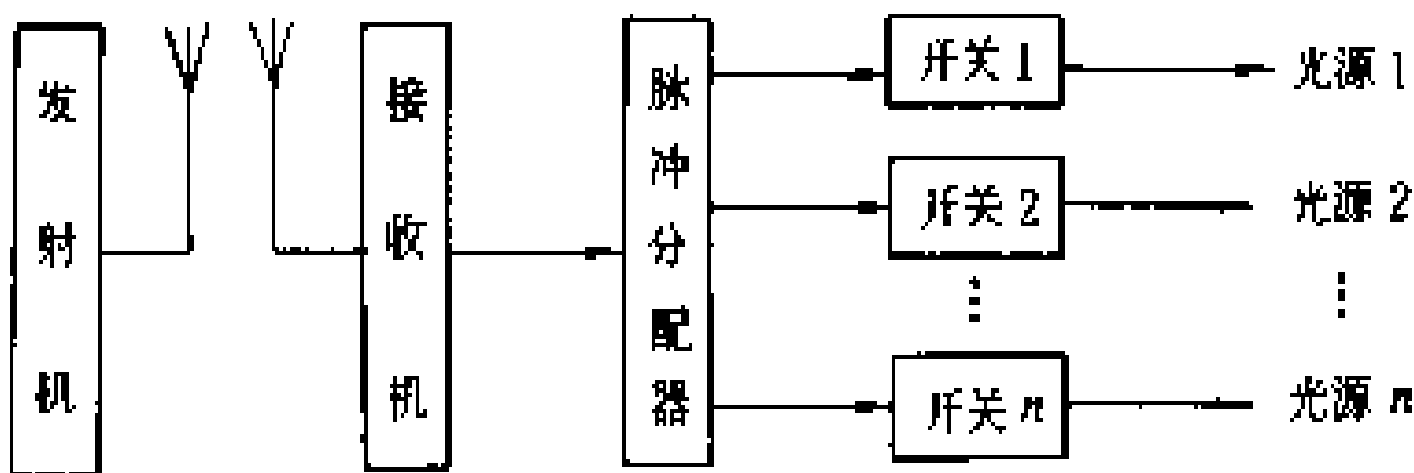


图 5 无线遥控音频照明控制原理框图

发射机可以作的很小巧，象钮扣或钢笔一样，置于距声源较近的地方。发射机将音频信号转换为无线电波发射到空间，接收机收到此信号后，经过处理来

控制照明光源的状态。这种控制方式挣脱了“有线”的束缚，用起来得心应手。

(6)音频照明控制的群控：指有多个或多组光源的受控系统，它的应用很普遍，舞台、舞厅及俱乐部的背景灯光、音乐喷泉的彩色装饰灯以及声光表演等都是

以群控的方式出现。

(7) 音频照明控制的单控：该控制方式多用于家庭、楼道、库房、卫生间等，人们轻轻地拍击手掌或吹声口哨或用走路的声响，便可方便地打开或关闭光源。由于日常生活中声波干扰很多，造成被控光源误动作几率很高，直接影响了这种照明控制方式的应用。

为了解决音频控制的抗干扰问题，人们利用现代电子技术研制出了智能音频照明控制开关，这种开关分为可识别短句的智能控制开关和可识别音色特点的音频控制开关。

①可识别短句的智能音频控制开关可以听懂人的短语，象“开”、“关”、“亮”、“暗”等，然后按此口令去控制光源的开启、亮暗和关闭。其原理框图如图 6 所示。

②可识别音色特点的音频控制开关与可识别短句的音频控制开关相似，可以识别开、关、亮、暗等口令，不同的是，它需将口令与事先存放的某个特定人的口令的音色进行比较判断，当这个口令的音色与存档的口令音色一致时，控制开关才实施操作，否则不执行口令。原理框图如图 7 所示。这类开关一般只在国防工业、国家机密等重要部门使用。

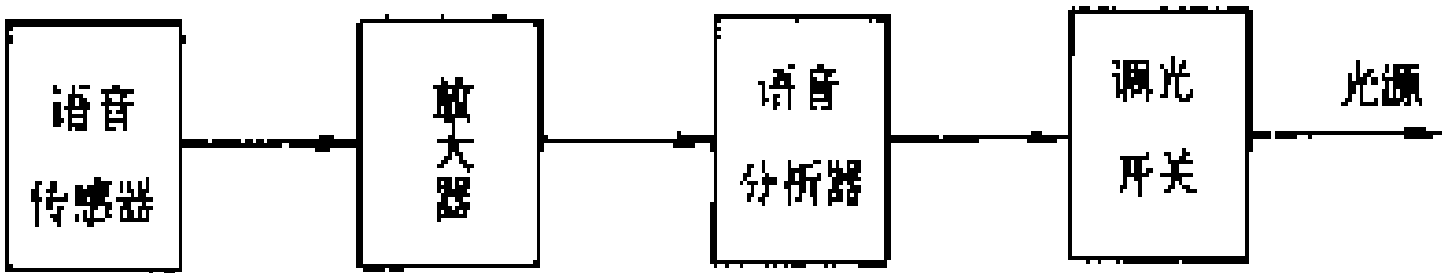


图 6 智能音频控制原理图

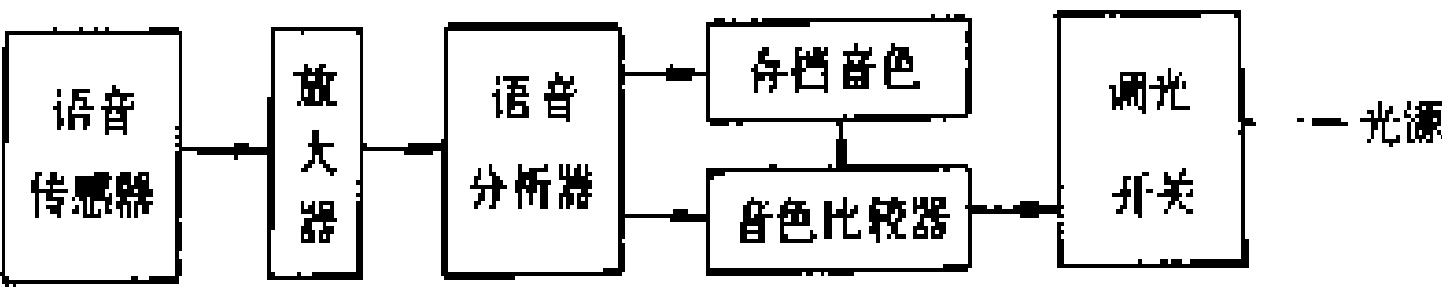


图 7 可识别音色特点的音频控制原理图
(高汉卿)

yinran gongye yongdian

印染工业用电 (electrical energy utilization of printing and dyeing industry) 印染工业是对棉机织物进行预处理、染色、印花和整理的工业部门。棉纤维含有的少量果胶质、脂蜡蛋白质和色素等，经纱上的浆料，织物上残留的棉籽壳屑等都会影响染整效果，所以要进行预处理。染色设备主要有连续轧染机、卷染机。前者适用于大批量染色，后者适

用于多品种、小批量染色。印花常用设备有滚筒印花机、圆网印花机和平网印花机。整理有防缩、防皱、柔软、增白、阻燃、轧光、轧纹等。

印染工业的漂白、染色、印花工艺流程分别见图 1～图 3。

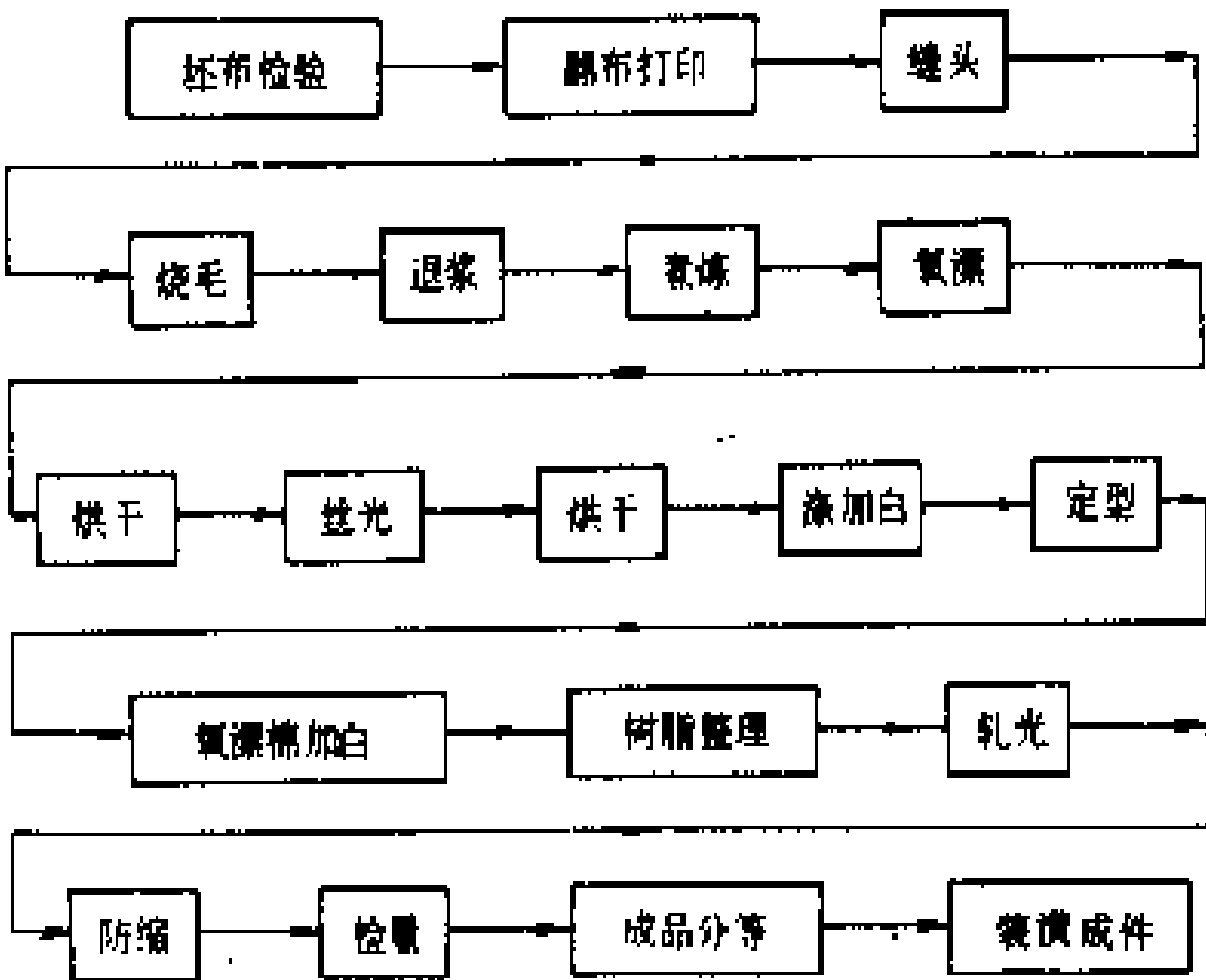


图 1 漂白工艺流程

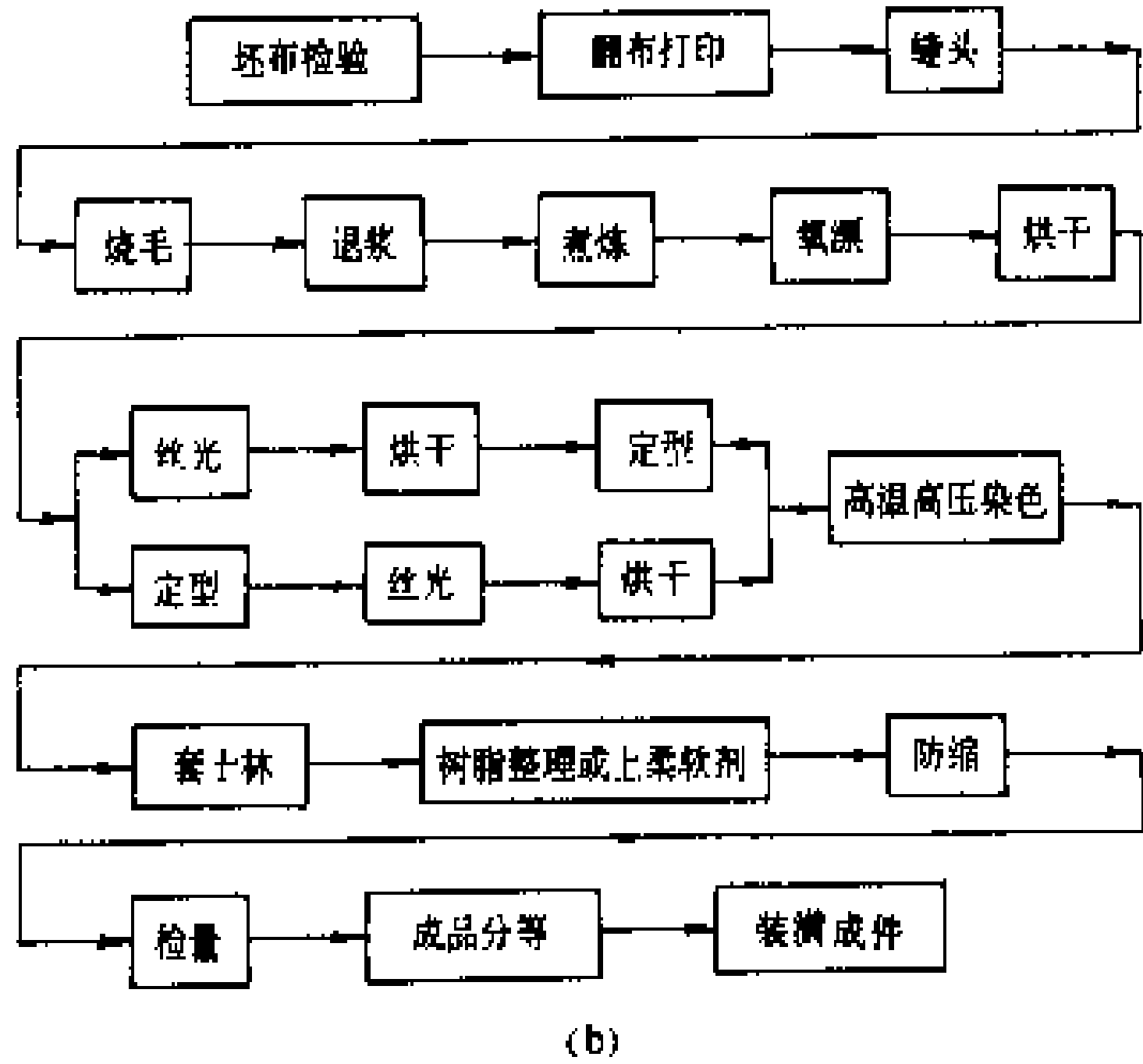
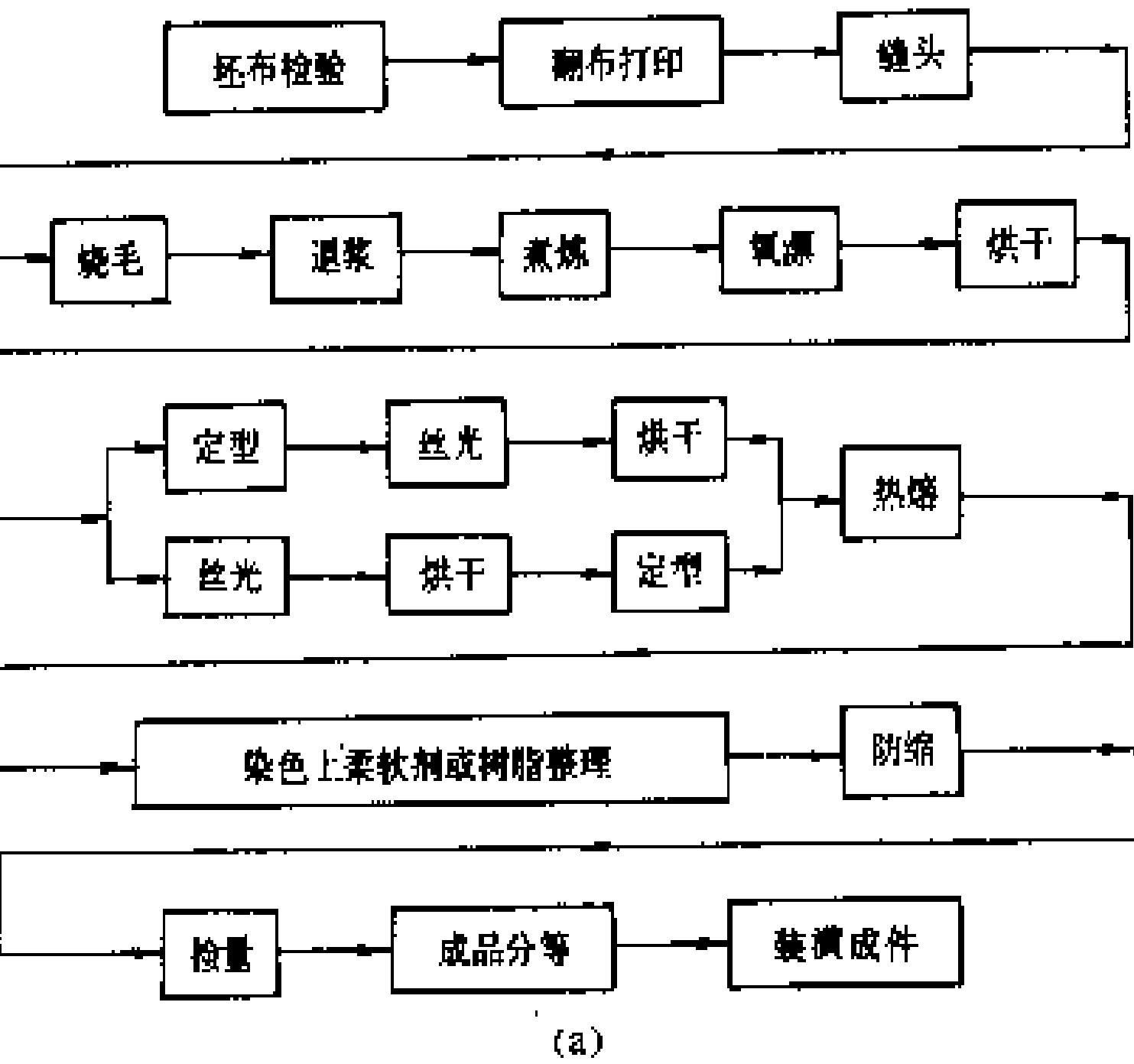


图 2 染色工艺流程

(a)热溶轧染工艺流程;(b)高温高压卷染工艺流程

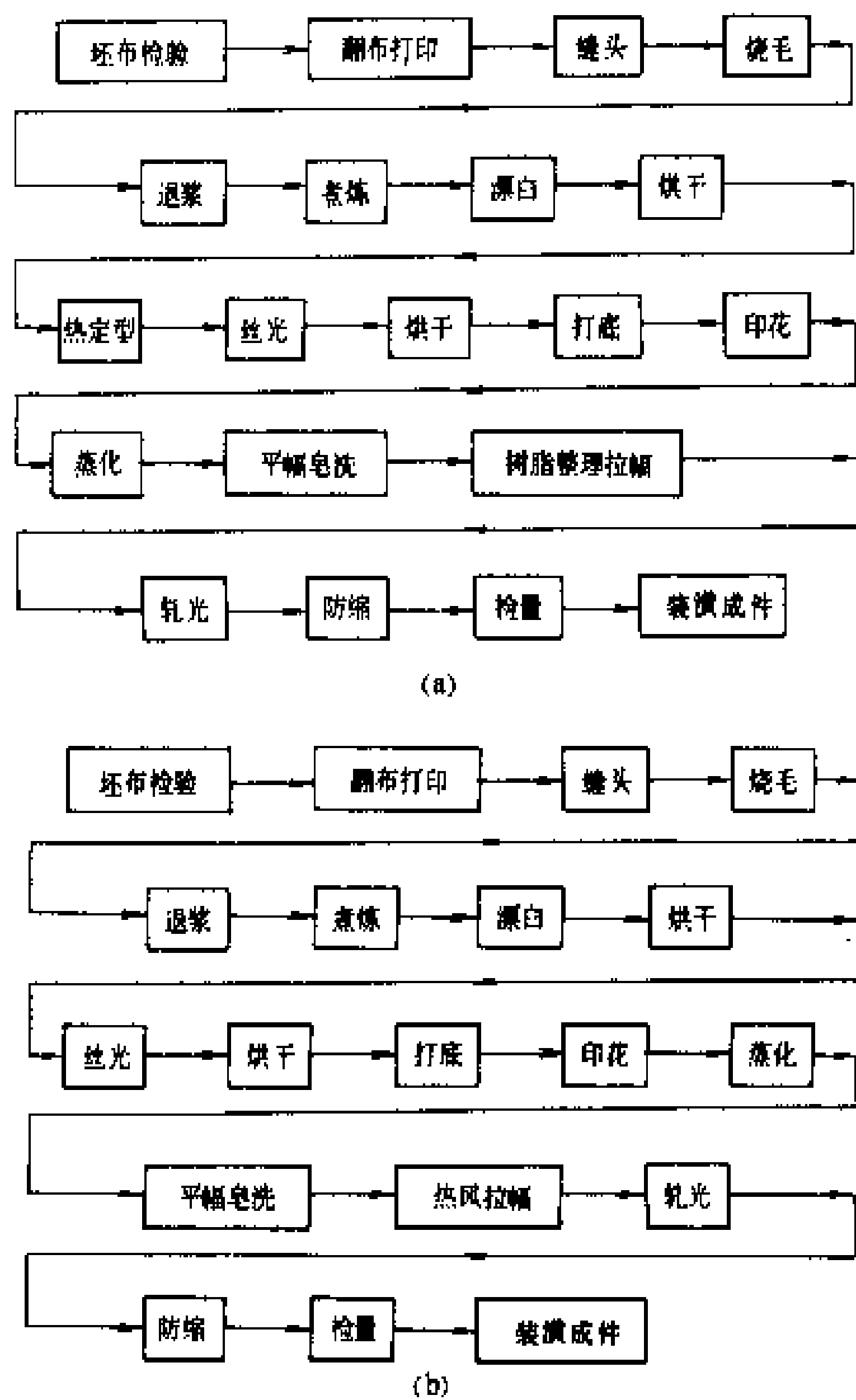
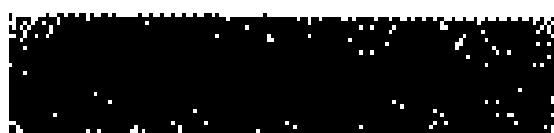


图 3 印花工艺流程

(a) 涤棉印花工艺流程；(b) 纯棉印花工艺流程

印染为流水线生产，昼夜(24 小时)连续运行，电气设备为长期工作制；生产车间温度高、湿度大、有腐蚀性气体，因而对电气设备有防潮、防腐蚀要求；日用电负荷率一般在 85% 以上；在连续运转过程中，突然中断供电，引起染色中的部分产品质量下降甚至出现部分废品；烧毛机、油锅炉等为二级用电负荷(见用电负荷级别)；典型厂用电容量：年产 1500 万 m 印染厂定额用电 1750 kW；年产 2500~3000 万 m 印染厂定额用电 2800 kW。

(陈金镜)

yingji zhaoming

应急照明 (emergency lighting) 在正常照明因电源发生故障熄灭的情况下，供人员疏散、保障安全或继续工作用的电气照明(见照明分类)。

应急照明是现代建筑中的一项重要的安全设施。在建筑发生火灾、电源故障断电或其他灾害时，应急照明对人员疏散、消防和救援工作，保障人身、设备安全，进行必要的操作和处置或继续维持生产、工作都有重要作用。

分类 应急照明按功能分为三类，即疏散照明、

安全照明、备用照明。

疏散照明 在正常照明因电源发生故障熄灭时，为使人员能容易而准确无误地找到建筑物出口而设的应急照明。考虑疏散照明的设置应根据建筑的层数、规模大小、复杂程度，建筑物内停留和流动人员多少，以及这些人对建筑物的熟悉程度，建筑物内的生产或使用特点、火灾危险程度等多种因素综合确定。一般情况下列建筑物应设置疏散照明。

(1) 人员众多、密集的公共建筑(如大礼堂、大会堂、剧场、电影院、文化宫、体育场馆、大型展览馆、美术馆、大中型商场、大型候车厅、候机楼及大型医院等)。

(2) 大中型旅馆、大型餐厅等建筑。

(3) 高层公共建筑、超高层建筑。

(4) 人员众多的地下建筑(如地下铁道车站、地下旅馆、地下商场和地下娱乐场等)和面积无天然采光的建筑。

(5) 特别重要的、人员众多的大型工业厂房。

安全照明 在正常照明因电源发生故障熄灭时，为确保处于潜在危险中的人员的安全而设的应急照明。下列场所应设置安全照明。

(1) 工业厂房中的正常照明因电源故障而熄灭时，在黑暗中可能造成人员挫伤、灼伤等严重危险的区域，如刀具裸露而无保护措施圆盘锯等。

(2) 正常照明因电源故障熄灭时，使危重患者的抢救工作不能及时进行，延误急救时间而可能危及患者生命的场所，如医院的手术室、危重患者的抢救室等。

(3) 正常照明因电源故障而熄灭后，由于众多人员聚集，且不熟悉环境条件，容易引起惊恐而可能导致人身伤亡的场所，或人们难以与外界联系的电梯内。

备用照明 在正常照明因电源发生故障时，为确保正常活动继续进行而设的应急照明。下列场所应设置备用照明。

(1) 断电后不进行及时的操作或处置可能造成爆炸、火灾及中毒等事故的场所，如制氢、油漆生产，化工、石油、塑料、赛璐珞及其制品生产，炸药生产及溶剂生产的某些操作部位。

(2) 断电后不进行及时操作或处置将造成生产流程混乱或加工处理的贵重部件损坏的场所，如化工、石油工业的某些流程，冶金、航空航天等工业的炼钢炉、金属熔化浇铸、热处理及精密加工车间的某些部位。

(3) 照明熄灭时将造成较大政治经济损失的场所，如重要的通信中心、广播电台、电视台、发电厂

与中心变电所、控制中心、国家和国际会议中心、重要旅馆、国际候机楼、交通枢纽、重要的动力供应站（供热、供气、供油）及供水设施等。

（4）照明熄灭将妨碍消防救援工作进行的场所，如消防控制室、应急发电机房、广播室及配电室等。

（5）重要的地下建筑因照明熄灭将无法工作和活动，如地下铁道车站、地下医院、大中型地下商场、地下旅馆、地下餐厅、地下车库与地下娱乐场所等。

（6）照明熄灭将造成现金、贵重物品被窃的场所，如大中型商场的贵重物品售货区、收款台及银行出纳台等。

应急照明的供电 应急照明按一类负荷供电条件供电，设置专用电源。由正常电源转换到应急电源的时间希望越短越好，CIE 规定安全照明转换时间不大于 0.5 s，疏散照明和备用照明不大于 15 s，商业照明再短一些更好，如 1.5 s。英国规定一般为 5 s，如果人对建筑物比较熟悉可增加到 15 s。中国北京市规定，用于疏散照明、备用照明不应大于 15 s，用于安全照明时不应大于 0.5 s。用于疏散照明和备用照明时灯泡再点燃时间不应大于 5 s，因此，要求使用能迅速点燃的灯泡，如白炽灯、荧光灯、卤钨灯，高强气体放电灯因启动时间较长不能作为应急照明光源。

应急照明灯的蓄电池工作时间不应小于 30 min，持续时间可分为 30、60、90、120、180 min 几种。疏散照明应能持续到确保全部人员撤出到达安全地点，对于小的房间和 10 层以下建筑物应有 1 h 持续时间，对于较大房间和超过 10 层的建筑物应持续 1~3 h。

应急照明的专用电源常用的有蓄电池和柴油发电机，如持续时间要求较短的可采用蓄电池，要求持续时间较长的应采用专门的发电机供电，在取得有关部门允许时也可采用电网供电的第二电源。

应急照明的维护管理十分重要，需要制订维护制度，否则当灾害发生时不能正常工作就会酿成大祸，造成重大损失。集中蓄电池每月至少运行 1 h；自带蓄电池应急灯每月应检查和操作 1 次，每年应运行 2 次，每次 1 h；蓄电池每隔 3 年应长时间放电 1 次；发电机组至少 90 天检验和测试 1 次。

应急照明的照度一般可低于正常照明的照度，中国照明标准规定疏散照明照度不宜低于 0.5 lx；安全照明的照度不低于正常照明照度的 5%~10%；备用照明的照度不低于正常照明照度的 10%。

（赵振民 吕光大）

yingguangdeng

荧光灯（fluorescent lamp） 利用低压汞蒸气放电产生的紫外线激发涂敷在灯管内壁的荧光粉而

发光的电光源，又称日光灯。荧光灯是一种热阴极、低压汞蒸气放电灯，利用放电产生的紫外线，通过敷在玻璃管内壁的荧光粉，转换成可见光。

与白炽灯不同的是，荧光灯需要点灯附属装置镇流器和启动器。荧光灯的发光效率高、寿命长、发热量小、光色可根据需要进行选择、灯管表面亮度低、发光均匀柔和，在普通高度的单层或多层厂房、办公室、学校、医院、图书馆、商店和家庭照明中得到了广泛的应用。

诞生和发展 白炽灯发明后大约 60 年，1938 年第一支荧光灯终于开发成功，使照明技术发生了巨大的变化。最初的荧光灯所使用的发光材料为硅酸锌镀膜荧光粉。由于这种荧光粉是一种有害于人体健康的化合物，影响了荧光灯的推广应用。1948 年英国首先开发出卤磷酸盐荧光粉，克服了硅酸锌镀膜荧光粉的缺点，而且使荧光灯的平均发光效率上升到 60 lm/W，灯的色表和显色特性的选择范围也宽了。1974 年，窄频带三基色荧光粉研制成功后，三基色荧光灯的光效提高到 90 lm/W，一般显色指数达到 85 以上。虽然三基色荧光粉比卤磷酸盐荧光粉贵，但它的紫外线转换为可见光的效率高，而且能经受更高强度的紫外线激发，所以灯管的直径可减小 1/3，由原来的 38 mm 降低到 26 mm，从而可节约荧光粉的用量，在输出光通量不变的情况下，灯的功率可减小 10%。这样，26 mm 管径的三基色荧光灯得到了迅速的推广应用，并将逐步替代 38 mm 管径的标准荧光灯。到 1979 年，荷兰首先开发出紧凑型荧光灯。这种灯使用三基色荧光粉，光效在 40 lm/W 以上，显色指数在 80 以上，灯的寿命长达 5000 h 以上，而且灯形小巧，结构紧凑，成为替代 60~100 W 白炽灯的一种较理想的节能光源，并在许多照明场所得推广用。

结构和材料 普通荧光灯的结构如图 1 所示。灯管的长度和直径是根据灯的功率大小确定的。

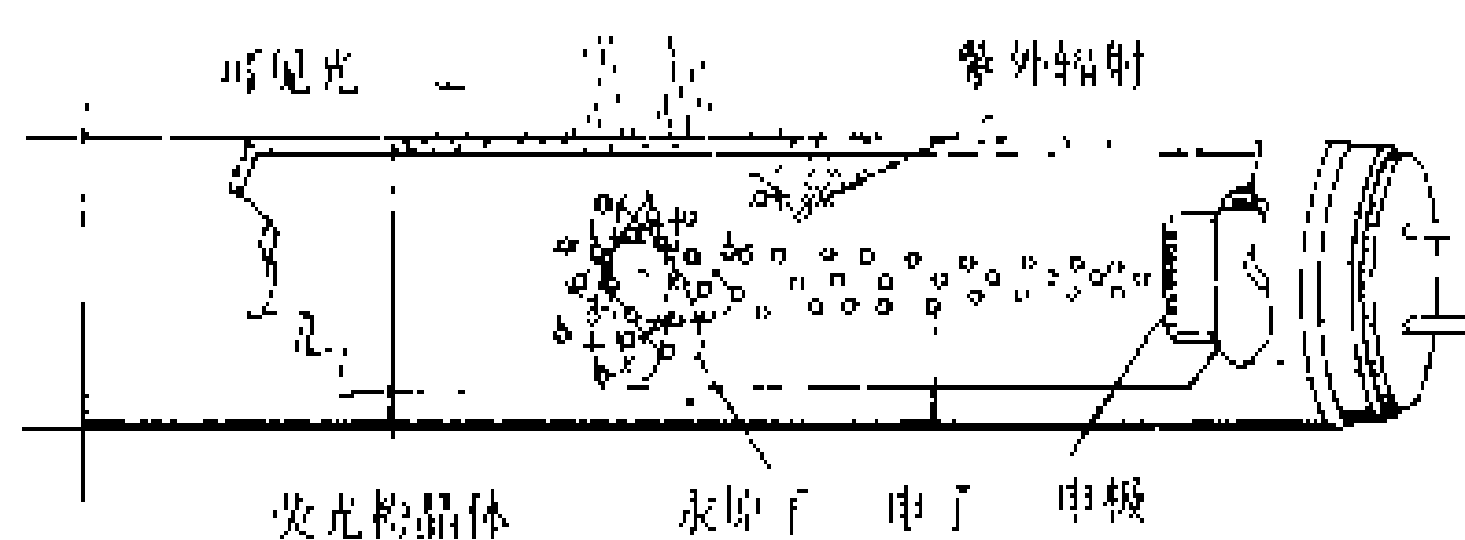


图 1 管形荧光灯的结构和放电机理示意图

直管形荧光灯的玻管一般采用碱玻璃制作，环形荧光灯的玻管则采用易于加工的铝玻璃制作。在灯管内壁涂敷荧光粉，灯管两端封接用铝玻璃制成的芯柱，用镍等材料制成的支架，将双螺旋或三螺旋灯丝固定在芯柱上，在灯丝上涂敷电子发射物质（一般是以钨、钼或钙为主体的氧化物）作为电极。根据灯的

种类和用途,在电极部分设置辅助电极。灯管经排气抽真空后,封入汞粒和稀有气体。在灯的两端,用焊泥(酚醛树脂、石英砂等)将灯头固定住。灯头的结构是根据灯的种类确定的,对快速启动型荧光灯除设有辅助电极外,在灯管内壁还涂敷透明导电薄膜(主要是氧化锡),或是在灯管的内壁或外壁安设用石墨加氧化铝等材料制成的导电带,并在玻管外壁涂敷硅树脂作为防水处理。

发光原理 荧光灯的放电形式属于热阴极弧光放电。接通电源后,在进行热电子发射的阴极前面产生阴极电位降,在阳极前面则产生阳极电位降,两极之间为正柱区。在正柱区内,被电场加速的电子和汞原子碰撞,汞原子吸收碰撞电子的动能而被激发,辐射出波长为 254 nm 和 185 nm 的光谱线,即汞的共振谱线。波长为 185 nm 的谱线多数自我吸收,荧光粉对它的灵敏度也很低。波长为 254 nm 的谱线,在荧光灯的发光中起着主要的作用。在低压汞放电中,除共振谱线外,还产生其他的光谱线,在紫外部分有 297, 313, 334, 365 nm 和 366 nm 的谱线,在可见光部分有 405, 436, 546, 577~579 nm 谱线。涂敷在管壁上的荧光粉,吸收共振紫外谱线辐射,发出比共振谱线的波长更长的荧光。荧光的光谱能量分布是随荧光粉的材料的不同而变化的。

技术参数 荧光灯的技术参数主要指发光效率、光色和寿命。

发光效率 简称光效。以普通 40 W 的白色荧光灯为例,输入功率为 40 W,转换成可见光只有 10 W,相当输入功率的 25%,其余 30 W 被荧光粉吸收及加热电极,使管壁温度升高等所消耗,其中 12 W 转化为红外线辐射,18 W 为传导和对流所消耗。荧光灯的能量分配如图 2 所示。

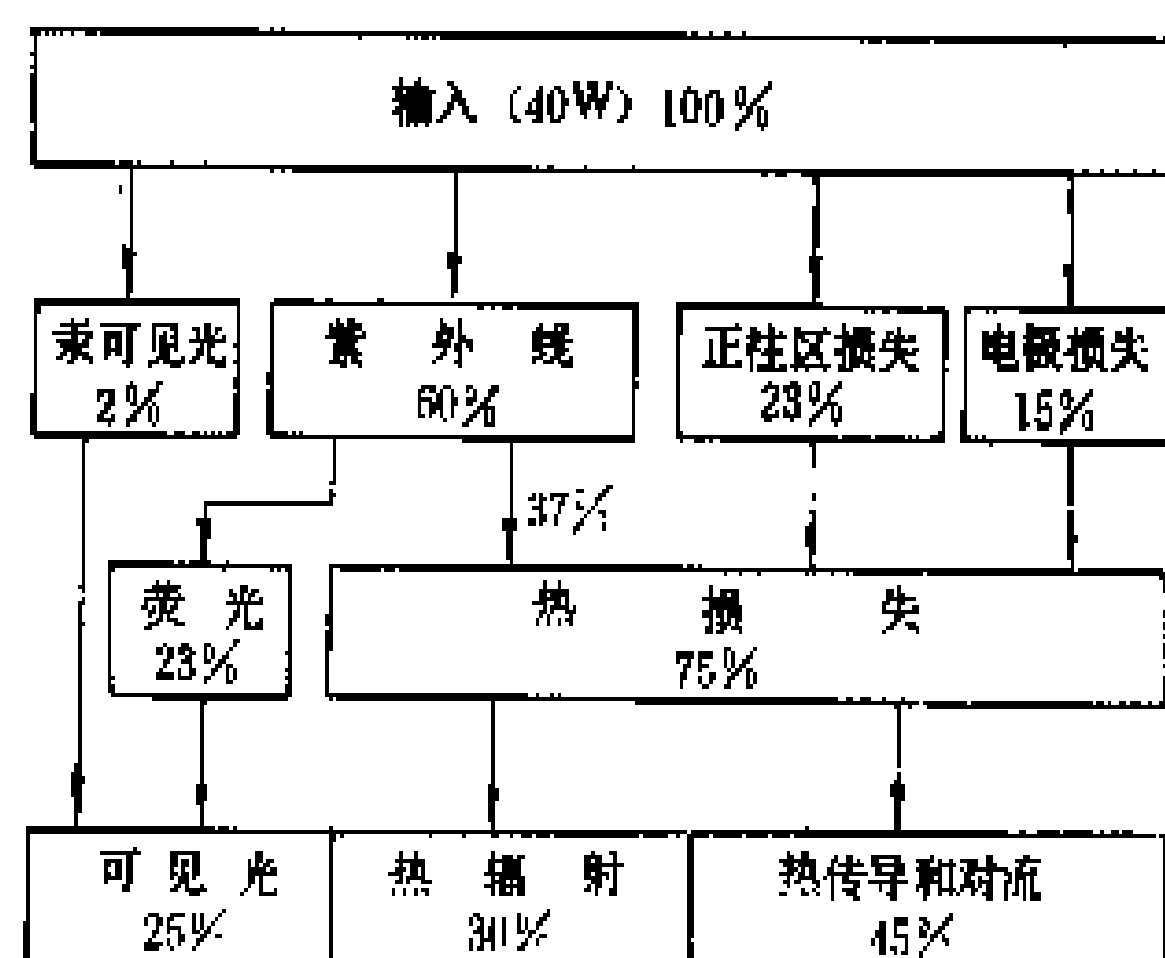


图 2 荧光灯的能量分配

荧光灯的发光效率等于以下三个分量的乘积：① 254 nm 辐射的发生效率约占放电功率的 60%；② 荧光粉的能量转换效率,此效率取决于荧光粉的量子效率、量子比和发光系数；③ 荧光粉层和玻璃管的透过

率,约为 0.88。

经计算,荧光灯的理论发光效率约为 80 lm/W。

光色 荧光灯的光色用色坐标 (x 和 y)、色温 (K) 和平均显色指数来表示。例如普通的 40W 白色荧光灯的色坐标 $x=0.373$, $y=0.384$; 色温为 4200K; 平均显色指数 R_a 为 64。又如日光色 40W 荧光灯的色坐标 $x=0.312$, $y=0.345$; 色温为 6500K; 平均显色指数 R_a 为 77。

寿命 荧光灯的寿命分全寿命和有效寿命两种。全寿命指灯从开始使用到不能再点燃时的总时数; 有效寿命指灯的光通量下降到开始使用时的初始光通量值的 70% 时所点燃的时数。

荧光灯在运用时,不能把灯管直接接到电路上,面必须同时连接辅助元件镇流器和启辉器。预热式启动的荧光灯是借助启辉器产生辉光放电,加热启辉器内的双金属片,使它向电极方向弯曲而与电极接通,于是电流经启辉器和镇流器加热灯丝。双金属片一旦闭合,辉光放电停止,这时双金属片开始冷却,直至两电极重新断开,双金属片恢复原状。在启辉器内两电极断开的瞬间,灯丝的加热电流突然切断,在镇流器两端产生一个很高的自感电动势,使灯启动点燃。

荧光灯是一种具有下降伏安特性的电光源。为了使灯稳定地工作,必须配用镇流器。电阻、电感和电容器件都可做成镇流器。用电阻镇流所消耗的功率较大,如直流点燃的 40 W 荧光灯,在电阻上消耗的功率达 42W,所以大多数情况是采用电感或电容进行镇流。理想的电感或电容器件镇流所消耗的功率比电阻镇流低得多,一般为灯的功率的 10%~20%,对节约电能,提高灯的光效是很有利的。但是使用电感镇流会使功率因数下降。为克服这一缺点,需在灯的电源侧的两端并联电容器进行补偿,以提高功率因数。补偿后的功率因数虽然不能完全等于 1,但可接近 1。

为加速荧光灯的启动,在镇流器内附加灯丝加热回路,将镇流器的二次电压设计得高于启动电压,这样电源电压施加后,1 s 即可启动,这就是荧光灯的快速启动。

电感式镇流器存在有重量和体积大,消耗金属材料多,功率因数低的缺点。近年来开发出的电子镇流器比较好地克服了上述缺点。随着电子工业的发展,电子镇流器将逐步替代电感式镇流器。

种类 荧光灯的种类很多,分类的方法不一,通常是按外形、灯管尺寸、启动方式、颜色和用途进行分类。

按外形分类,有直管形、环形、U 形、H 形、2D



字形荧光灯与平板形荧光灯等几类。

按灯管的尺寸分类，有管径为 38 mm 的标准荧光灯和管径为 26 mm 的细管型荧光灯两类。

按启动方式分类，有预热式启动和快速启动荧光灯两类。

按灯的功率分类，有管壁负荷为 0.3 W/cm² 的标准型荧光灯，管壁负约为 0.5 W/cm² 的高功率型荧光灯，管壁负荷大于 0.9 W/cm² 的超高功率型荧光灯三类。

按颜色分类，有色温为 6500 K 的日光色荧光灯，色温为 4500 K 的白色荧光灯和色温为 3500 K 或 3000 K 的暖白色荧光灯三类。由于橙红、绿和蓝三基色荧光粉的开发成功与推广使用，推出了高显色性荧光灯。另外，作为装饰照明或其他特殊用途的荧光灯，在荧光粉和玻管内壁之间涂敷一层彩色涂料就可获得各种颜色的彩色荧光灯。

按用途分类，有一般照明用荧光灯、装饰用荧光灯和特殊用途荧光灯三类。其中特殊用途荧光灯又分为生物工程用荧光灯、光化学用荧光灯、作检查和鉴别用荧光灯以及色评价用荧光灯四类。特殊用途荧光灯随着使用目的的不同，灯的特征相差较大，表中列举了若干特殊用途荧光灯和它们的特征。此外，还有为改善灯的性能和可控制灯的配光曲线面带反射膜的

反射式荧光灯；灯管敷设紫外线吸收膜，防止被照物体退色或老化的无紫外线荧光灯；为提高灯的光效和功率而制成的非圆形灯管断面的异形荧光灯；有满足特定点灯条件要求的直流电源供电的直流荧光灯；低温条件点灯的低温荧光灯以及高频电源供电用的高频荧光灯等。

发展趋势 由于荧光灯具有光效高、寿命长、显色性较好、节约能源等优点，预计荧光灯的产量和普通照明白炽灯的比例，到 2000 年将由现在的 1：10 上升到1：5，年产量达 4 亿只左右。从灯种的发展趋势看，细管型荧光灯、环形荧光灯和紧凑型荧光灯将是发展的重点。到 2000 年，预计这三类荧光灯的产量占荧光灯总产量的比例，将从现在的 10%上升到 70%左右。

为了进一步提高灯的光效、寿命和显色性能，开发和采用高光效的稀土荧光粉和填充含氮气的混合气体，可使 40 W 细管型荧光灯的光效提高到 96 lm/W，显色指数 R_a 达 84 以上，色温为 5000 K。正在研制的四基色（在蓝绿色波段增加发光光谱）和五基色（在蓝绿色和深红色波段增加发光光谱）荧光粉可使荧光灯的平均显色指数 R_a 提高到 93 以上，光效可达 75 lm/W。40 W 直管形荧光灯通过采用新电极，改进填充气体和充气压力，寿命可达 20000 h。

特殊用途荧光灯及其特征

用 途		荧光灯	光 谱 分 布	特 征
生物产业用	栽 培	植物培育用荧光灯	以 460nm 和 660nm 为中心的荧光	符合叶面叶绿素的吸光曲线，有效辐射蓝光和红色光
	防治害虫	捕虫用荧光灯	以 360nm 为中心的荧光	符合昆虫类的趋光性反应曲线
		防虫用荧光灯	具有 450nm 以上发光区的黄色灯	不刺激昆虫的飞行或利用双眼的明适应性，使昆虫向照明场所集中或抑制其夜间活动
	杀 菌	杀菌灯	254nm 的亮线	使用透紫玻璃（透过率约 75%以上）
		健康线用荧光灯	峰值在 300nm 附近的荧光	使用特殊透紫玻璃（不透 254nm 以下），具有红斑作用和维生素 D 合成作用
光化学用		复印用（重氮）荧光灯	以 420nm 为中心的荧光	与使用机器组合，有各种尺寸的灯和多种超高输出型的灯
		电子照像用荧光灯	510nm 附近的荧光	缝隙式
		光化学用荧光灯（黑光灯）	以 370nm 为中心的荧光	光化学反应应用（有机合成等），紫外线硬化树脂用
检查、鉴别、装饰照明用		黑光灯 ^①	以 360nm 为中心的荧光	使用特殊着色玻璃，完全截住可见光，仅辐射近紫外光（300~420nm）
色评价用		色评价用荧光灯	色温为 5000K 的高显色性	$R_a > 95$ 抑制亮谱线

① 亦称为蓝色黑光灯。

（肖辉乾）

yingye guanli

营业管理 (business management) 对电力经营销售工作进行有目标的控制活动。电能是现代生活和人民生活的必需品,其经营销售的商务活动在世界各国都采用专营的方式,即在一个供电区域内,认定一个供电企业有权从事这项活动。电能的销售是借助于电网这个特殊的流通渠道,将电能从发电厂直接送到用户内部,供用户随时消费,中间无储存环节。因此,电能的供销与一般商品的供销有明显的不同。电能的供销不仅对供电企业来说是扩充业务、寻求发展、保证收益、维持再生产的一项重要工作,而且对地区经济发展、社会的安定也是一项至关重要的工作。

营业工作内容包括受理用电申请,确立供电方式,核收有关费用、签订或变更供用电合同,安装、更换及维修电能计量装置,电能表的抄录,电费核算和收取等。

世界各国营业管理的内容与方式基本相似,但因经济体制、发展水平的不同,也有所差异。营业管理主要包括报装、接电、电能计量管理、电费管理等方面。

报装、接电 从受理用户的用电申请,直至接电为止的各项供电业务,包括新建、扩建增容和改建受电装置以及用户迁移用电、换表、减容、暂停、变更户名等变更用电,都是报装、接电管理的业务范围。报装接电一般按用户用电容量的大小和供电电压的高低实行分级管理。报装、接电管理的内容有受理用户新增或变更用电的申请,现场勘查,确立供电方案,进行供电工程设计、施工,计收工程有关费用,签订供用电合同,安装电能表,接电等工作。报装、接电工作承担着扩大电力经营业务,是直接体现为用户服务的窗口,因此,世界各国电力公司非常注意做好这项工作,尽力在用户希望开始用电的日期供电。

电能计量管理 电能是以专用计量器具进行计量的特殊商品。对每个新申请用电的用户,电力企业要根据用户用电容量的大小,供电电压的高低,确定其合适的电能计量方式,选择合适的电能计量装置及其安装的地点,这是电能计量管理的首要工作。由于世界各国都把电能计量器具作为由国家进行监督的计量器具之一,因此,电力企业对电能计量器具的管理必须依法进行。装在用户处的电能表要事前进行检验,使其误差在合格范围之内;运行中的电能表要依法定期进行现场检验或定期进行换校;对用户提出的电能表计量不准的问题,要及时进行处理;对电能表损坏或接线错误等原因造成计量不准问题,要进行技术验证等。

电费管理 对每个开始用电的用户,按抄录的用电量和相应的电价,核算电费,开出收据,收缴电费等一系列工作。电费是电能进行贸易交换获得的等价的货币。电费管理既是一项直接关系到用户利益的经营业务,又是一项工作量大,作业单一而重复的工作,因此,不仅要求电费核算准确,且最适宜采用计算机自动化处理。电费管理分为抄表、电费核算、收费等工作。

抄表就是将装在用户处的电能表的记录数字抄录下来,以便确定用户消费电量的一种作业。抄表工作虽很简单,但它提供了确定电费债权、债务的原始依据,因此抄表是一项重要的工作。抄表的周期,一般为1个月1次,有的对居民用电也采用隔月或隔数月抄1次表的方法。抄表的日期,一般都是固定的,当遇有节假日休息时,也有作临时调整的。抄表的方法,大都是人工眼睛看,手抄录,现在有些国家已开始采用抄表微机,抄表微机分为人工读人或自动读入两种,正在开发的有无线车载抄表技术和自动抄表系统。有些国家的电力公司为了提高劳动生产率,缩减人员,将抄表工作委托给他人进行,日本委托他人抄表已达70%~100%。

电费核算是依据抄表数据和合同确认容量以及电价等进行的电费计算工作。过去电费的核算都是用人手工算的方式进行。20世纪60年代以后,计算机技术的发展和普及,电费的核算、开发票、封装以及用户电费查询等工作都可用计算机来完成。这样做不仅减轻劳动强度,提高工作效率,而且减少计算差错,同时也改善了服务质量。

电费回收是一项不亚于电源建设、电力安全生产工作的重要工作。为了维护电力企业的再生产和扩大再生产,满足社会对电力的需求,及时将电费全部回收是一项十分重要的工作。收取电费的方式有:走收,即以人工的方式挨家挨户去收取电费;坐收,即由用户到指定的营业网点去交纳电费;托收,即用户到电力企业委托的金融部门的网点交电费;银行储蓄存款付费,即用户事前在银行存以一定量的款额,银行收到电费帐单后,将用户的存款划到电力企业的户头上;银行分次划拨付费,即用户按合同规定的日期、次数和款额,通过开户银行,将电费付给电力企业。

为了确保电费及时回收和电费债权,世界各国都通过立法或供电规程中规定条款等形式,明确电力企业有下列权利:①对超过规定期限交电费的用户,可以按电费额度收取电费滞纳金或增收一定额度的电费;②对担心有可能不交电费的用户,在用电前交付一定的用电保证金;③对多次催交电费仍然不交者,可停止供电。

日本的营业管理 日本的营业管理组织大致分为总公司、分公司、营业所(站)三类。总公司担负制定有关营业活动的总目标、方针和规划,并调整下级组织的营业目标、计划和预算,制订有关营业的基本规程制度。总公司的营业活动由营业部和配电部为核心开展工作,并设立与一般营业业务、宣传报导、配电业务等相关的课或股。分公司是中间管理业务的组织,担负制订包括分公司在内的下级营业组织的目标、方针,调整下级组织的目标、规划、预算,收集下级组织报告,调整并统筹管理分公司内的营业活动。营业所(站)是直接与用户接触的营业活动的基层组织,担负新增用电申请、工程费计收、回收电费、处理违约用电、查表、普及电气知识、处理用户投诉、发布停电布告、配电线路设计、施工管理、线路的维护检修等。

日本的营业管理除新增供电业务(即报装接电)、电费业务外,还有维护合同业务、宣传报导、服务业务。而电能计量管理则包含在电费业务中。维护合同的业务主要是指停电检修业务、合同变更业务、外线改造业务等。宣传报导及服务业务主要是指公关工作,包括了解掌握地方对电力事业的要求,宣传正确理解电力事业,配合地区改善环境,社会福利等工作,为地区开发做贡献。

法国的营业管理 法国的电力工业由法国电力公司负责经营管理,营业管理工作也是按用户供电电压的高低不同,分部门管理和分级管理。法国电力公司直属的业务处负责研究对不同类型用户的营业方针,制订电价政策,提出扩展用电的规划和目标。法国电力公司下属的发输电局,负责 60 kV 高压用户营业管理,并与送受电有关的相邻国家签订供受电合同;20 kV 及以下的中压和低压用户由法国电力公司下属的配电总局负责管理。配电总局在全法国设立了 17 个配电局,配电局下设 95 个配电中心,配电中心下设 300 个配电所,配电所下设 1000 个配电站,营业管理实行分级管理,但大量工作主要集中在配电中心、配电所和配电站。法国的营业管理也包括报装接电、电能计量管理、电费管理等方面。法国的营业管理十分注意改善服务和提高效益。首先改进了接待用户的方式,除了用户到营业站直接来办理用电申请以外,也允许用信函和电话两种方式来办理用电申请和用电有关事宜的咨询。这两种方式深受用户的欢迎,用信函和电话来办理用电业务的已达到 60%。其次在营业环节上普遍采用计算机,在每个接待用户的营业员岗位上,都配备了计算机终端机,可随时查询用户的情况,解答用户咨询的问题。第三,在营业所、站都有一个舒适、明亮的休息大厅,供用户在办理业务前休

息等候。为提高效益,法国电力公司对低压用户延长了抄表周期,城镇 4 个月抄 1 次,农村 6 个月抄 1 次,同时 2 个月预交 1 次电费,这样缩减了大量的抄表人员。法国电力公司十分注意用电负荷的管理,在订合同时,不仅要订明用电最大需量,而且要规定各电价时间所对应的负荷以及超负荷与变更负荷责任与办法;对低压用户要按报装的容量安装调整好低压负荷开关防止用户超用电量;对实行峰谷分时电价的用户以及允许后夜低谷用电热水器等的负荷,采用音频控制技术加以严格控制。法国的电价并不复杂,但电价执行的制度相当具体。这些措施,充分反映了法国电力公司在满足用户电力需求的条件下,公平对待用户,合法地追求更大效益的宗旨。

(王世耀)

yongci zhiliu diandongji

永磁直流电动机 (permanent-magnet direct current motor)

利用永久磁铁建立励磁磁场的直流电动机。励磁磁场由永久磁铁产生,没有励磁损耗和不需要独立的励磁电源。由于永磁直流电动机加软铁极靴,所以电枢反应基本上不影响主磁通,机械特性更接近直线,堵转转矩也比较大。随着稀土永磁材料的发展,特别是钕铁硼永磁材料的出现,使得永磁直流电动机的造价降低,体积减小,基本上不发生退磁现象。永磁直流电动机的控制性能优于其他电动机,故在小型高精度的伺服系统中它仍具有广泛应用的前景。

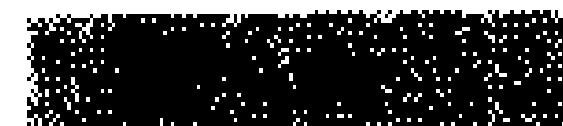
为了减小永磁直流电动机的转动惯量,可以采用以下三种方法:①制成印刷电动机。它的电枢是一块机械强度很高的绝缘盘,用印刷电路工艺去印制电枢绕组,换向片的数目比普通直流电动机多得多,又因为没有电枢铁芯,所以能产生均匀的转矩。②制成杯形转子印刷电动机。其容量大于印刷电动机,电枢绕组被做成杯形圆环,夹在内外两个定子之间。③制成无槽直流电动机。其转子是一个光滑无槽的圆柱形铁芯,上面安放由绝缘带和树脂成形和固定的电枢绕组。这三种直流电动机的共同特点是:转动惯量小,过载能力达到 5~10 倍,电枢绕组电感小,换向性能比较好。

(刘宗富 高宝贤)

yongdian

用电 (electric power utility; electrical energy use)

按预定目的消耗电能的行为。社会上应用的电能,是由水、煤、油、核等一次能源加工转换得来的,送到用户后又借助能量转换器具转换为机械



能、热能、化学能、光能，以满足社会政治、经济、文化和人民生活的需要。当今社会，只要有人活动的场所，都是电的市场，充足、优质、廉价的电能是市场的需要，也是电力行业为之奋斗的目标。

作为商品的电能与其他商品一样，有使用价值，也有价值。它是一种最方便、最清洁、最容易输送和控制，并能以简单的装置高效地转换为其他能源的二次能源。电能的应用是继钻木取火和蒸汽机应用后，人类历史上利用能源的第三次飞跃。在人类社会生产史上，蒸汽机曾为社会生产由劳动密集型向能源密集型过渡起了先导作用；电能的应用推动了能源密集型生产的发展，开辟了社会生产进入技术密集型的前景，创造出空前规模的社会生产力；电能的应用与电子技术控制手段相结合，为社会生产的技术进步，社会劳动生产率的提高和劳动条件的改善，提供了广阔的发展前景。当今社会，电气化程度已成为衡量一个国家工业、农业、科学技术、国防现代化和居民生活水平的重要标志。

由于受社会经济发展的不平衡和电能的发电、供电、用电瞬间同时完成，不能大量贮存，以及行业用电负荷各有时间特点等客观规律影响，电力供需盈亏随时间、季节而异，一天之内短时间缺电，一年之内季节性缺电，一个较长时期的大面积缺电，在世界多数国家都曾发生过。采用分时、分季节不同电价等经济手段和实行配额供电等政府行政干预，是世界各国通用的缓解电力供需矛盾的办法。

电能的价值随社会的发展而发展，传统的一次能源日益减少，开发条件日益恶化，为取得一次能源，投入的社会平均必要劳动量日增，这部分递增的劳动价值要依靠能源的两次转换效率的提高加以消化。为此，节约能源特别是节约使用电力，是世界各国长期努力的目标。

简史 电作为能源走进社会是从弧光灯和发电机的发明并逐步实用开始的。19世纪初，弧光灯试制成功。1831年英国人M. 法拉第(Michael Faraday)发现电磁感应现象，他的试验模型可以认为是直流电动机的雏型，次年出现了原始的直流发电机，为电能的应用打下了基础。19世纪50年代，以上两项发明经过许多人的改进，曾应用在航海灯塔上。1870年前后，直流发电机达到了实用化程度，为弧光灯的应用开辟了道路。1873年的维也纳万国博览会上展出了一台用瓦斯原动机拖动的发电机，带动一台水泵运转，引起参观者的兴趣，这是电能开始社会应用的前奏。1875年法国巴黎北火车站开始用弧光灯照明，世人多以此作为社会用电的开始。由于弧光灯的光亮过强，且产生的碳蒸气污染空气，故只能用于广场照明，而不宜

用于室内。1879年美国人T. 爱迪生(Thomas Edison)研制出碳素白炽灯泡后，以电为能源的照明才开始用于室内并在社会上开始推广应用。

19世纪70年代末，即使是范围很小的直流电网进入城市街道，应用电能也比应用一次能源优越，电能在各领域的应用，已受到科学家的重视。首先，1879年5月直流电动机应用在德国的世界第一条城市公共电车上，接着以直流电为动能、热能、化学能的应用技术有了进展。由于直流电受发电机电压限制，送电距离有限，交流电动机、发电机、变压器应运而生，城市电网得到扩展，为电能的普遍应用开辟了道路。在19世纪80年代内，铝、镁、铜、锌的电解提取和直流电弧炉的金属冶炼，都已试验成功。19世纪90年代，电解制碱、各种电阻炉、效率更高的钨丝白炽灯也开始问世。20世纪初，水电解提取氢、氧以及合成氨制取技术也达到了工业化生产水平，为电能的更加普遍应用创造了技术条件。在没有形成交流电网、供电能力受到限制的城市，一些有自备锅炉的工厂利用蒸汽锅炉发电，以电动机代替蒸汽透平拖动工作机械。此时的电力企业仍以电灯或电光公司命名。

第一次世界大战(1914~1918年)期间，军事工业的发展，促进了工业装备的更新和新科学技术的采用，在动力上电气化逐步取代了蒸汽化的统治地位，电解烧碱、电冶炼金属、电石以及化肥等工业得到迅速发展，使电能转化为社会生产实用的化学能、热能上迈出了一大步，奠定了电能在社会上广泛应用的基础。

中国第一盏弧光灯问世于1879年5月。这一年上海英租界的一幢仓库里，以1台10马力(7.5 kW)蒸汽机拖动的发电机点燃了1盏碳极弧光灯。1882年外资在上海成立上海电气公司并建设了容量仅为12 kW的中国第一家电厂，供应沿外滩到虹口招商局码头串接的15盏电弧灯(参见彩图插页第1页1图)。此后，在广州、北京和其他一些沿海口岸、矿山、经贸中心陆续建了一批公用或企业自备发电厂，此时的公用发电厂主要供商业、居民照明和市政路灯、电车等用电。约在20世纪30年代前后，中国电力企业才开始逐渐向社会供应工业生产用电。

电能应用 电能应用的扩展是以电能转换器具的发展及其技术进步为契机的。电气照明器具的发明及技术进步，已基本垄断了当今社会上太阳光以外的照明领域(见电气照明)；电动机的出现，以电力为能源的动力逐步占据了统治地位，并为生产工艺上的自动化、远动化创造了条件(见电力拖动)；各种电加热炉窑的出现，不但提高了能源利用效率，而且解决了其他冶炼方式无法达到的多种金属和非金属冶炼需要的

温度和条件，以及满足金属质量特殊要求的加工处理（见电热设备）；电焊的发明和技术进步，解决了其他焊接方式无法解决的焊接质量保证和难熔金属的焊接；用电解方法加工提纯金属取得了多种具有空前纯度的有色金属，满足了对其应用质量要求，食盐电解制出了为国民经济发展需要而过去无法取得的重要工业原材料；电气化铁路的应用解决了陆地运输上的高速度、大运力、高陡度、无污染的运输手段，正在逐步取代蒸汽机车；各种家用电器的发明和技术进步，为人们学习、生活和工作环境、饮食卫生、居住安全、仪表美观、文化生活的丰富等创造出空前优越的条件；通信、广播、科学运算都离不开作为其能源的电力。总之，当今社会，电能已经成为国民经济和居民生活不可缺少的要素。世界上一些国家人均年消费电量见表。

1991 年世界上一些国家人均年消费电量[kW·h/(人·年)]

国 家	消费电量	国 家	消费电量
加 拿 大	16218	苏 联	5369
瑞 典	15360	英 国	4961
美 国	11139	意 大 利	3920
联邦德国	6390	西 班 牙	3397
法 国	6074	中 国	494
日 本	5476		

注：1. 摘自 1993 年日本《海外電気事業統計》。
2. 消费电量中已扣除公用电网输电损耗电量。

人类社会已经形成以电力为能源的庞大生产力。在相当长的时期内电作为能源是难以被替代的，尽管新的一次能源不断涌现，但这些新的一次能源在相当长的时期内也将像核能一样以转换为电能的形式向社会提供。

公共关系 主要表现在电力事业的公用事业性质、与国民经济相互依存、供用电之间反映敏感、供电质量共同保证、用电必须安全等方面。

公用事业性质 当今社会，电能已成为社会必需品，进入电气化时代，一旦失去电源，社会生产无法进行，高速运行的社会流通领域无法运转，信息系统中断，居民的正常生活难以维持。为此，世界各国都把电力事业纳入公用事业管理的范畴，实行三项基本政策，即①实行供电区域垄断；②销售价格由政府审定；③给予优惠的税赋、贷款待遇，以促其健康发展，满足社会需要。电力企业以向社会提供充足、优质、廉价电能为目标，做好优质服务工作。

与国民经济相互依存 电能消耗的增长以社会经济活动增长为基础，社会经济活动增长又以电能供应增长为条件，两者相互依存并显现出带有规律性的内

在联系。一个国家或地区的产业、产品结构变化，对两者依存关系有较大影响。一般来说，重工业产值比重增加，综合单位产品（产值）耗电增加，反之则减少，尤以单位产品（产值）耗电大的载能体进出口数量增减，影响国家综合产值耗电最大。除特殊原因外，社会电能消耗的增幅通常超前于社会国内生产总值的增幅。这是由于：①能源在社会经济活动中的地位日益重要，而一次能源又受自然条件制约，开发条件日益苛刻，把一次能源转换为电力再应用，一般可以提高一次能源的综合利用效果，这是世界各国经济发展的规律。如美国 1960～1982 年，单位工业产值耗电增加 10%，总能耗降低了 41%。②社会生产的上游产品，一般经历一个由农业原料到工业原料的过程，而工业原料又经历由天然矿石开采到工业合成的转变，天然矿石开采由于采掘条件日益变劣，也有一个耗电增加的过程，因而使用电的增长超前于产值的增长。以人类衣着原料为例，从棉、毛→人造纤维→合成纤维的转变，每一个转变都使生产成衣的全过程用电显著增加；塑料代替钢铁，也使产品耗能结构中用电的比重增加。尽管由于节约用电技术的采用和推广，使单位产品（产值）耗电降低，但由于社会产品结构变化的结果，后者一般只能部分抵补前者的增加量。

为了分析社会电能消耗的增长与社会生产总值增长的关系，世人常以前者与后者之比，即电力弹性系数，加以比较分析。一个国家或地区，在一个时期内，尽管个别年份电力弹性系数可能小于 1，但就一个较长时期考察，通常是大于 1 的。1950～1976 年几个主要国家的电力弹性系数：美国为 1.9，苏联为 1.3，英国为 2.2，法国为 1.45。中国 1949～1990 年的 41 年中，工农业总产值年递增 10.83%，而同期发电量年递增 12.9%，电力弹性系数近似为 1.19。

1949 年中国的发电量为 43 亿 kW·h，居世界各国的第 25 位，全社会用电量仅有 34.6 亿 kW·h，当年工农业总产值 466 亿元（人民币），人均占有仅 86 元。广大农村很少有电，仅占全国耕地面积 3.3% 的水浇地也主要靠自流灌溉，电灌是少数；轻工业以纺织工业为支柱，其用电量占轻工业用电量的 66%；重工业以英国、美国、法国等商人经营的采煤工业为支柱，煤炭工业用电占重工业用电的 41%，工业的技术装备主要靠从英国、美国、法国等国进口；交通运输用电很少，全国平均只有 2.3 m/km² 以蒸汽机车拖动的铁路；市政公用设施用电主要是少数大城市的上下水道、电车、商业、路灯和主要街道上居住的居民生活用电。用于居民生活的用电按全国人口平均，约有 0.52 kW·h/(人·年)。



经过 41 年的经济建设,1990 年全国发电量达 6212 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$, 在各国中居第四位, 社会用电量以年平均递增 13% 的幅度增长, 1990 年达到 5246.9 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$, 工农业总产值达到 3.16 万亿元, 人均占有 2763 元, 为 1949 年的 32 倍。1990 年各种农用电动机达到 3749 万 kW 。轻工业方面:1949 年前主要依赖进口的化纤、手表、缝纫机、电冰箱、洗衣机、电视接收机等大批生产基地已建立起来, 1990 年中国生产的棉布、电视接收机数量占世界各国的第一位, 化纤、纸占第四位, 糖占第六位; 重工业方面:1949 年前依赖进口的铝锭、汽车、拖拉机、飞机、发电成套设备等都已形成一定的生产规模, 1990 年中国产量居世界第一位的有煤炭、水泥, 第三位的有硫酸; 交通运输方面: 货物周转量 1952~1990 年以 9.76% 的年递增率增长, 运营铁路长度增加 1.4 倍, 其中电气化铁路长度达 6900 km ; 市政生活方面:1990 年与 1949 年比较, 城市自来水普及率从 42% 提高到 89.2%, 城乡家庭生活用电以 13.2% 的年递增率增长, 1990 年全国人口平均用电量从 1949 年的 0.52 $\text{kW} \cdot \text{h}/(\text{人} \cdot \text{年})$ 增加到 40 $\text{kW} \cdot \text{h}/(\text{人} \cdot \text{年})$ 。

为了充分满足社会发展的电力需求, 电力企业要调查市场需求, 做好用电分析和用电负荷预计, 采取有效措施, 给予保障。

供用电之间反映敏感 由于电能的生产与使用处于瞬间相互平衡中, 中间不能贮存, 因而社会经济活动与用电水平紧密相连, 用电的变化也迅速地从电力生产上反映出来。

不同用户的用电负荷有不同的用电时间特性, 防暑降温 and 采暖用电都是季节性出现并随温度变化而变化; 农业生产用电随季节和晴雨天气变化很大。早期长, 灌溉用电随时间递增, 一旦降雨, 用电陡降, 如雨量过大, 更为集中的排涝用电又陡增; 一、二班制生产的工业企业用电常集中在白天和前夜, 露天作业用电常因降雨而停止, 昼间阴天又增加了室内照明用电; 居民生活用电多集中在晚间, 电炊用电多集中在饭前, 电视台一场吸引力大的节目开始, 用电负荷陡升, 球场、剧场中间休息时, 电煮咖啡、煮水沏茶又把用电推向一个高峰。各电网不同时间各用户用电负荷叠加形成电网年、月、日的用电负荷高峰和低谷, 要求电力生产必须随着用电负荷的变化及时调整发电出力和起停发电机组, 否则将使电网运行频率偏移, 电能质量下降, 甚至影响电网的安全运行。与此同时, 还要以不同方式促使用户进行用电负荷调整, 尽量使用电负荷曲线趋于平稳。世界上多数国家的电力企业, 利用经济手段辅之以技术手段(见电力负荷控制装置), 促使用电负荷进行调整, 提高电网用电负荷

率, 以降低高峰, 填平低谷, 减少电力建设投资, 降低发电成本, 为用户提供更廉价的电能。(见用电负荷管理)

由于供用电之间反映敏感, 社会政治经济形势的变化在用电水平上迅速反映出来。如: 在政治动荡、经济危机、罢工浪潮波及的地区, 其用电量水平随之下降; 反之, 政局稳定、经济复苏、工人复工, 其用电量水平也随之上升, 因此, 人们常把社会用电水平的变化看作是社会政治经济形势的“晴雨表”。

供电质量共同保证 商品电能的质量包括频率、电压的偏移和供电可靠性等, 直接影响用户的生产安全和效益, 影响程度决定于用户的用电性质。电力企业应对供电质量负责。由于一般商品的质量保证环节主要在产品生产过程, 贮运销售过程的质量保证在很大程度上也依靠生产厂的制造质量及产品包装质量。作为商品的电能, 其质量保证除依靠发电厂、电力调度和供电部门的安全运行外, 也靠用户合理使用, 使用不当也将造成电网电能质量下降。用户的用电功率因数影响电网电压质量; 用电负荷中的冲击负荷、不对称负荷、非线性负荷影响电网电压和波形畸变; 用户内部电气事故有可能造成越级跳闸, 降低电网供电可靠性; 在电力供需矛盾尖锐实行计划用电的电网, 用户大量超指标用电, 可能影响电网频率质量, 甚至引起更大的灾害。因此, 电网电能质量, 要依靠电力企业和用户共同保证。为了确保全电网的供电质量, 电力企业除了做好本身电能质量保证体系外, 还要对影响电网供电质量的用户用电负荷进行科学管理。

用电必须安全 人的视觉不能直接发现电的存在, 当管理或使用不当时, 电对人身、设备会产生极大的危害; 电能又是不可大量贮存的能源, 在当今社会中, 供电一旦中断又将造成生产中断, 社会瘫痪, 甚至造成人身伤亡、设备损坏, 引起电气火灾, 即使是短时间停电, 也将给社会造成严重影响。为此, 在电能生产、输送、使用全过程中, 要把安全放到特殊重要的位置。电力企业在坚持安全第一的方针, 做好安全供电工作的同时, 还要从为用户服务的目的出发, 以其行业的技术优势, 宣传、组织、协助用户, 做好安全用电工作。

(顾嘉来)

yongdian anquan guanli

用电安全管理 (safe management of electric power use)

对用电过程中的电气设备与电工作业行为以及环境条件进行监督检查, 以保障生命、财产安全和防御发生事故停电(见停电)为目标的活动。用电安全管理是众多安全管理中的一种。由于电力生



产、供应与使用的特殊性和电能应用的广泛性,用电安全管理是一项专业性很强、并具有社会普遍意义的工作。用电是借助于电气设备,并按人们的意志进行能量转换,用以实现某一目的的能量消费行为。用电的安全主要取决于电气设备安全可靠水平和使用操作行为的准确性以及抵御恶劣环境的有效程度。电气设备的安全可靠性与设备制造的工艺质量,供用电装置的设计、安装、维护检修质量以及抵御恶劣环境的能力有关。使用操作行为的准确性与作业者本人安全知识和作业技能水平、作业行为的规范性等因素有关。

用电过程中可能发生的事故主要有触电伤亡事故、电气火灾事故、电气设备损坏事故和电力系统停电事故。发生上述事故,可能会产生危及生命或财产安全、引起供电中断等后果。

产生上述事故的主要原因是缺乏必要的安全用电知识或违反电气设备使用规定;电气设备制造质量低劣;供用电装置的设计、安装不符合标准;电气设备维护检修不当或不及时;运行操作行为不符合安全规定;缺少必要的安全技术与组织措施等。

人类从事故中不断吸取教训,除改进电气设备的设计,提高电气设备的性能外,还制订出大量的规程、规范和标准,用以指导电气设备的制造、设计、安装、维护、检修工作,以避免同类事故再度发生,不断提高用电安全水平。

用电安全管理的目的是通过对电气设备的设计、安装、运行、检修等标准、规程的监督实施,提高设备的健康水平,规范操作行为,预防电气事故的发生,保障生命财产安全和不中断供电。用电安全管理的日常工作内容主要有:①进行用电安全的宣传教育,普及用电的安全知识,了解触电急救的基本要求,懂得常用电气设备的使用方法。②进行电工作业人员上岗前的技术培训、考核和日常的监督管理工作(见用户电工管理)。③进行规章制度执行情况的监督检查,主要检查国家与行业主管部门颁发的有关供用电安全的技术标准、法规的贯彻执行情况。④常规的用电安全检查,如供电设施施工中间检查、受电装置竣工接电前的检查、定期检查、季节性检查和特殊情况下的检查等。⑤指导和帮助用户做好安全技术与组织措施的落实。⑥组织推广用电安全的新技术、新装置和新经验。⑦其他用电安全工作的组织与协调,如用户电气事故管理,用户电气试验和用户继电保护管理、用户谐波管理、用户双电源管理等。

(余义浦 徐纪法)

yongdian anquan jishu

用电安全技术 (electric power use safety

technique) 保证人身和电气设备用电安全,防止用电事故发生的技术和措施。随着国民经济的发展和人民生活水平的提高,电力已成为工农业生产、科研、城市建设、市政交通和人民生活不可缺少的二次能源。在使用电力过程中,不注意安全,会造成人身伤亡事故和国家财产的巨大损失。因此,随着电力事业的发展,用电设备和耗电量的增加,用电安全的重要性日益突出。

保证用电安全的基本要素有:①电气绝缘。保持设备的良好绝缘,是保证人身安全和电气设备正常运行的基本要素。电气绝缘性能通过绝缘电阻、耐压强度、泄漏电流、介质损耗因数等指标来衡量(见用电设备预防性试验)。②安全距离。带电体与地面、带电体之间、带电体与人体、带电体与其他设施等接近而不发生危害的安全可靠距离。③安全载流量。允许持续通过导体内部的电流值。超过安全载流量,导体会发热,导致绝缘损坏,可能引起漏电或火灾事故。④标志。明显、准确、统一的标志是保证用电安全的重要因素。标志分颜色标志和图形标志。颜色标志表示不同性质、不同用途的导线或某处的安全程度;图形标志一般作为危险场所的显示。

用电安全技术包括人身触电事故和各种电气事故的防护技术;触电急救;保证电气作业安全的技术措施和组织措施,包括制定安全技术标准、规程,建立安全管理制度和电气设备安装、运行维护规程,开展电气安全思想教育和电气安全知识教育;电气设备的绝缘性能的测试技术;用电中的安全技术;电气装置的防火、防爆技术;电气安全用具和静电防护技术。

设备安全技术 保证人身和设备安全,在安全技术上对设备要求:①对裸露于地面和人身易于触及的带电设备,应采取可靠的防护措施。②设备的带电部分与地面及与其他带电设备,应保持一定的安全距离。③易产生过电压的区域或设备,应装设过电压保护装置。④电气设备应可靠接地、接零,低压配电系统应装设漏电电流动作保护器。电气设备的保护接地和保护接零,是防止人体触及绝缘损坏的电气设备引起触电事故的有效措施。正确运用接地和接零保护是用电安全技术的重要内容。⑤在电气设备安装地点和工作场所应装设安全标志。⑥双电源及自发电供电的用户,应装设备用电源自动投入或双电源连锁装置,防止向停电设备倒送电。⑦根据某些电气设备的特性和要求,采取特殊的安全措施。

电业工作安全技术 违章作业是造成人身触电和设备事故的原因之一。在使用电力时,用户应遵守电业安全工作规程,执行国家和电力部门颁布的有关规程、规定,并应依据上级颁布的规程制订现场规程。



在电气设备上作业,必须完成保证作业人员安全的安全措施。安全措施分安全技术措施和安全组织措施两大类。安全技术措施包括停电、验电、装设接地线、悬挂标示牌和装设遮栏;安全组织措施包括工作票制度,工作许可制度,工作监护制度,工作间断、转移和工作终结制度。安全措施按作用分预防性措施和防护性措施两类。预防性措施用于防止危害人身安全因素的产生。工作票制度,工作许可制度,工作监护制度,工作间断、转移和工作终结制度,停电,验电,悬挂标示牌和装设遮栏属于这类措施。防护性措施是当发生危害因素时,能保护工作人员免遭伤害。装设接地线属于这类措施。在带电设备上工作,应遵守带电作业的有关规定。

电气安全用具 为了防止人身触电、电弧灼伤、高空摔跌等事故发生,必须使用合格的电气安全用具。安全用具应定期检查、试验,保持完好和良好的绝缘性能。应根据工作内容、工作环境和对象,合理选用安全用具,做到正确使用。

防止人身触电 防止人身触电是用电安全技术的主要内容。因此,必须研究电流对人体的危害、触电方式及防止触电的安全措施,杜绝触电事故的发生。电流对人体的伤害是多方面的。电流对人体的伤害程度与通过人体的电流强度、持续时间、电压、频率、电流通过人体的途径以及人体的健康状况等因素有关。电流大小不同,引起人体的生理、病理效应不同。电流通过人体的效应是研究触电安全技术,制定安全防护标准及设计有关电气设备的基本依据之一。国际电工委员会(IEC)制定的《电流通过人体效应》是世界各国研究成果中具有代表性和权威性的成果。中国已采用这项标准,并制定了相关的国家标准,如GB3805《安全电压》、GB4208《外壳防护等级的分类》、GB9089·2《配电系统接地型式》、GB/T12501《电工电子设备防触电保护的分类》、GB6829《漏电保护器主要技术性能参数》等。

触电急救 发生触电事故,现场人员应以最快的速度、正确的方法,使触电者首先脱离电源,然后立即进行现场救护。人触电后,只要方法得当,坚持进行抢救,多数触电者可“起死回生”。触电事故是突然发生的,每个电气工作人员和其他有关人员必须熟练掌握触电急救法。(见触电急救)

电气防火技术 电气设备的绝缘,多是采用易燃物质组成的。在运行中由于发生短路或接地事故,设备损坏产生电弧或火花,将引燃周围易燃物,发生火灾或爆炸,危及人身安全。因此,在使用电力时,要研究电气火灾发生的原因,采取预防措施,火灾发生后采用正确的抢救方法,防止发生人身触电及爆炸事

故。(见电气设备防火)

静电防护技术 不同物质的接触和分离或相互摩擦产生的静电,不加防护,会导致火灾、爆炸和人身触电。在使用电气设备时,应采取措施控制静电的产生,防止静电的积累,以防止静电引起的电气事故和人身触电。

(陈金盛 赵学林)

yangdian anquan jiancha

用电安全检查 (safe detection of electric power use)

保证用电安全的具体监督行为。用电安全检查是用电安全管理的重要内容之一。在用电安全方面对供用电设施的设计、施工、安装和运行都有一定的要求,核查这些要求是否得到满足,是保证用电安全的基础。电气设备投入运行后,由于受气象、环境、操作、电气事故、负荷变化等因素的影响,其寿命也在发生变化。为了延缓电气设备寿命,及时发现影响电气设备使用寿命的隐患和缺陷,并采取措施加以消除,是预防事故发生、保证安全的重要措施。此外,通过用电安全检查,能及时发现和纠正不安全的作业行为,对保证人身安全有极大作用。

用电安全检查的内容和依据的标准是根据检查的类别确定的。除气象、环境特异的地区,应满足本地区作出的特殊规定外,都应符合国家和电力行业主管部门颁布的技术标准或规定。用电安全检查根据电气设备投运状况,分为接电前检查与运行中检查两大类。

接电前检查 指设计、施工安装阶段进行的安全检查,包括电气工程设计图纸审查、施工中间检查、工程竣工检验。这三项检查是相互关联,依次进行的。

设计图纸审查 用户受电装置的电气工程在施工前,应对其电气工程设计图纸进行审查,这是保证用电安全的重要环节。审查的依据是国家和电力行政主管部门颁布的各种有关的电力设计技术标准、规定和地区性的特殊规定。审查的主要内容是受电装置的接线与运行方式;继电保护方案与配合;防雷与过电压保护;隐蔽工程与接地装置;无功补偿与电压;双电源的并网方式;谐波的防治方案;房屋建筑的防火、抗震、防洪、防小动物及通风标准;通信联络手段等。

施工中间检查 对电气工程施工完工后无法直接进行检查的工程项目,如隐蔽在地下的电缆沟、制作电缆头、变压器吊芯等工程项目,为避免返工,监督施工质量,进行施工中间检查是十分必要的。中间检查一般分几次进行,每次可在施工量进行到2/3时实施检查。检查的工程项目主要有:电缆沟和隧道、直埋敷设的电缆、电缆头制作、变压器吊芯、断路器的

解体、接地装置埋设、主要电气设备安装前特性试验等。检查应以电力建设工程施工及验收技术规范和已审定的设计要求为标准进行。

竣工检验 用户受电装置施工、安装、调试全部完毕后,要对整体进行一次全面的工程质量的考核,这是用户受电装置在接电前的最后一次检查,它对保证电气设备安装质量和运行安全起着关键性的作用。竣工检验应遵循国家电力设计技术标准、施工及验收规范和设计要求进行。检验重点是与系统直接连接的一次设备,主要内容是:变配电工程施工是否符合设计要求,施工工艺是否合理;电气设备安装调试是否符合标准规定;施工图纸、试验资料是否齐全、准确;是否备有必要的合格的安全工具器材;各种防误操作装置是否齐全可靠;运行人员是否经过培训,并已取得合格资格;现场规章制度是否齐全。

运行中检查 电气设备投入运行后,时常会遇到超越设计工况的情况,致使某些部位加速老化,如不及时发现和处理,必将引发电气事故。为了预防设备事故,及时发现和处理设备存在的缺陷和用电管理中的问题,开展运行中的检查,是保证用电安全的有力措施。运行中的检查分为定期检查、季节性检查、特殊性检查。这三种检查可单独进行,也可合并在一起进行。

定期检查 是一种周期性全面检查。检查的周期根据用户供电电压、用电容量、用电性质等因素确定。定期检查的主要内容:①对规章制度的建立和执行情况进行全面检查,主要是查现场规程是否齐全;工作票制度、操作票制度、交接班制度、巡回检查制度、预防性试验制度、设备缺陷管理制度、现场检修制度、设备事故分析制度等是否认真执行;各种档案、记录,如运行日志、值班记录、事故记录、设备缺陷记录、操作记录、检修记录、设备技术档案等是否齐备;各种反事故的技术与组织措施是否认真组织实施,消防及安全工具是否齐备。②对运行的电气设备进行现场巡视检查,主要从外观上对设备运行状况进行检查,查看是否符合规定,并逐一核对设备的试验、事故、缺陷、检修记录。

季节性检查 指根据地区季节变化,预计恶劣的气候条件有可能对电气设备安全运行构成危害,而事先采取的一种有针对性的安全预防性检查。季节性检查的主要内容有:①春季安全检查,系以防雷和设备预防性试验为主的检查,目的是查找冬季高峰负荷运行后存在的缺陷,防止污闪,为安全度过雷雨季节作准备。检查时间一般应在雷雨季节前。②过夏与防汛检查,系针对夏季温度升高和雨量增加,汛期来临,为防御高温与洪水的危害,而对电气设备载流部分、通风降温设备、排水设施、线路塔基、架空线弧垂进行的检查。检查时间一般为5、6月份。③防冻检查,

系针对冬季气温下降,为防御冰冻对电气设备的危害而进行的检查,以设备防冻、防冰凌、防污闪为重点。检查时间寒冷地区一般在9、10月份。

特殊性检查 这是一种临时性检查。其目的是在发生特殊情况时,为保证用电安全而临时采取的一种对策。如有重大政治供电任务活动前进行的检查;事故后对有关设备的检查以及恢复送电后反事故措施执行情况检查;自然环境突然恶化对电气设备正常运行带来严重影响时进行的特别巡视检查等。

(余义浦 徐纪法)

yongdian baozhengjin

用电保证金 (guarantee fund for use electricity) 由用户存出,并作为电能计量装置损坏赔偿和用电后应交纳电费债务担保的货币。利用用电保证金的形式,来保护供电企业财产和债权,是世界各国普遍采用的做法。用电保证金分为电能表保证金与电费保证金。

电能表保证金 电能计量装置一般由供电企业出资安装,但因装设在用户处,供电企业难以保管,丢失损坏的现象十分严重,同时也影响了用户用电。因此,为了保护供用双方的利益,法国、美国、中国等国家供用电法规上明确规定,用户对电能计量装置负责保护,遇有损坏丢失,应承担赔偿责任。为预防电能表损坏丢失,增加用户的责任心,规定用户在用电前应向供电企业存出电能表保证金,当发生电能表损坏丢失时,可用这项保证金抵偿。用户用电终止时,这项保证金凭存出时的收据全部退还。电能表保证金一般按该表的市场价格存出。

电费保证金 为了预防用户用电以后,电费交纳延期太久或用电后逃交电费,保护供电企业的合法利益,日本、法国、美国、中国等国家规定某类信誉不高的用户在用电前,应向供电企业存出不少于一个月电费数额的电费保证金。电费保证金在用户延期交纳电费时,可冲抵该用户的电费,但用户交纳电费后,冲抵的电费保证金应退存。电费保证金随用户需求增加,可作逐年的调整。用户用电终止时,结清电费债务后,电费保证金应凭据退还用户。

(王世煜 顾嘉来)

yongdian fenxi

用电分析 (electrical energy consumption analysis) 对用电状况及其相关动态的调查、统计、分析,用以反映国家、地区国民经济发展动态、趋势和电能利用效果。通过用电中的各项统计数据,进行科学分类并分别调查与其相应的国民经济各行业



运行状况和居民生活状况，进行纵向、横向的定量、定性分析，找出带有规律性的社会经济发展动态、用电动态及其发展趋势、存在问题，并提出相应建议。

世界各国电力企业的用电分析，主要为制定电力发展规划、分析电力成本、制订(修订)电价等服务。中国电力部门已经形成从上到下的逐级用电分析系统，除为上述各项服务外，着重为国家、地区制订国民经济发展中、长期计划、进行宏观调控服务；组织行业主管部门和企业进行本行业、企业的用电分析，以促进合理用电。中国电力部门用电分析除为用电负荷预计服务外，重点研究的问题见表。

中国电力部门用电分析主要内容及重点研究的问题

主要分析内容	重点研究的问题
用电申请行业、户数、容量	国民经济扩大再生产趋势
行业用电量升降	当前经济发展形势和动态
居民生活用电变化	居民生活电气化水平的变化
用电构成的变化	产业结构变化和调整
电费回收率	国民经济运转状况和电力企业资金周转状况
计划用电指标执行情况	计划用电遵循政策的落实
单位产品耗电升降	电能利用的效果和社会节电情况
用户电气事故统计	社会安全用电状况

中国用电分析分为定期综合分析与不定期专题分析两种。定期综合分析是较全面的分析，一般按年、季、月进行，侧重分析当前国民经济中出现的突出问题，为领导部门决策提供参考资料。不定期的专题分析是根据需要对某项具体用电问题进行有目的的分析，为领导部门决策提供基础资料。

见用电申请、用电构成、计划用电、单位产品(产值)耗电。

(顾嘉棠)

yongdian fuhe

用电负荷 (customers electrical load) 用电对象消耗的电功率。用电对象如用电的地区、用户以及用户内部的车间、工序、工艺或机台等。消耗的电功率与供电电压、取用电流以及用电功率因数有关。供电电压有效值与取用电流有效值的乘积为视在功率，计量单位为 kV·A (千伏·安)；在视在功率中实际做功消耗的分量称有功功率，计量单位为 kW (千瓦)；为建立磁场进行能量转换的分量称无功功率，计量单位为 kvar (千乏)。无功功率不消耗能量，但在

其传输过程中造成有功功率的损耗。在用电管理中用电负荷主要用于电力系统发、供、用电的电力平衡。

在实际用电过程中，用电负荷是不断变化的。因此，用电负荷除可用瞬间用电负荷表示外，电力平衡中多以 15、30、60 min 平均值计算。在一个时段内出现的用电负荷最大值称为用电最大负荷，最小值称为用电最低负荷，时段内实用电量除以该时段小时数为平均用电负荷。地区、用户用电负荷均衡程度，常以用电负荷率、用电负荷曲线、年最大负荷利用小时数表示，并通过用电负荷调整加以管理。

用电负荷在用户生产运行中的重要程度常以用电负荷级别表示，在用户用电工程建设中，对重要负荷采取必要的技术措施以确保安全供用电。

用电负荷中对电网运行有影响的是冲击负荷、不对称负荷和非线性负荷。

(顾嘉棠)

yongdian fuhe guanli

用电负荷管理 (electric load demand side management) 对用电需求的管理。按照电能的生产与使用相互瞬间平衡的客观规律，电力企业除组织电力生产实时调整发电出力以适应变化的用电需求外，还要对电能的使用加以组织和管理，求得电力供需之间的实时经济平衡，以保证供电质量，降低发供电成本，使电力资源得到优化配置，这是世界各国普遍的做法。从电力系统的发电出力来说，除库容小，缺乏调节能力的水电站，其发电出力随上游来水的丰、枯变化外，一般电厂的发电出力相对稳定，而用电负荷的变化随机性较大，众多用户用电负荷叠加形成的电网年、周、日用电负荷曲线有较大的起伏。不同的用电构成、不同的气候条件用电负荷具有不同的变化规律。掌握用电负荷变化规律，在用户申请用电时，采取引导、鼓励、干预等办法以尽可能少的电力资金投入，满足用户电能的需求，达到充足、可靠、优质、廉价的电力供应是用电负荷管理的目标和内容。

用电负荷变化规律 用电负荷管理是针对电力系统用电负荷变化的规律进行的。尽管用电负荷变化的随机性很大，但扣除社会政治经济等因素对负荷的影响外，仍具有一般性变化规律。这些变化规律在一年、一周、一天之内表现比较明显。

年用电负荷变化规律 一年之内的负荷变化除法定节日用电负荷较低外，主要受季节性影响，包括季节性生产和气温的影响。如农业生产季节性较强，农业生产用电比重较大的电力系统的用电负荷受其影响较大；寒冷地区取暖和炎热地区防暑降温对用电负荷影响大，其中突然出现特冷、特热日对用电负荷的影



响尤为突出。

周用电负荷变化规律 法定周休日用电负荷低。

日用电负荷变化规律 除三班连续生产的企业外,一般企业的生产活动多集中在白天和前夜,用餐时间多停产,晚间照明、广告、装饰用灯和文化活动比较集中,形成一天之内早晨、下午、前夜三个用电负荷高峰,后夜、中午时间用电负荷低。

管理办法 管理的目标是使用电负荷曲线趋于平稳,以提高发供电设备利用率,满足用户对电能的需要。管理的办法主要有经济办法和行政干预两种。

经济办法 是世界各国电力企业的通用办法。其基本做法是在用户提出用电申请时就向用户提供不同供电价格的用电方式供用户选用。供电价格包括分时电价和供电保证率电价。分时电价又分为峰谷电价、周休日电价和季节电价。

中国部分电力企业已采取分时电价。

为了落实经济办法,各国电力企业对用户都装用各种电力负荷控制装置,以保证用电负荷管理的落实。

(1) 实行峰谷电价。一天之内不同时间段电价不同,电力系统负荷高峰时段电价高,低谷时段电价低。时间段有的一天两段,有的一天分三段甚至更多时段。电价高低价差数倍乃至十数倍。实行分时电价的目的是鼓励用户把电网高峰时段的用电移向低谷,如引导用户将蓄冷、蓄热的电制冷、电加热设备在后夜低谷时段用电,而在白天、前夜使用积蓄的冷源、热源,以调整日负荷曲线。

(2) 实行一周内不同电价。在法定周休日降低电价,又称周休日电价,以调整周用电负荷曲线。

(3) 实行季节电价。在电力系统规律性用电高峰季节,如寒冷地区的冬季、炎热地区的夏季,提高电价,用电低谷季节降低电价,也包括水电站枯水季节提高电价,丰水季节降低电价,这种季节电价也称丰、枯水电价,用以调整年负荷曲线。

(4) 实行供电保证率电价。按合同提供较低供电保证率的低价电力。在一年之内电网用电负荷高峰个别高出正常的日子(如特冷日或特热日)经事先通知减供或停供的用电设备,或按合同约定在用电负荷高峰时段实行有限的短时间中断供电对用户影响较小的用电设备(如农业灌溉、防暑降温等用电设备)实行低价供电。

(5) 对购买可进行日用电负荷调整或可降低高峰用电负荷的部分设备,在价格上给予补贴。如有的电力企业对家庭用蓄冷、蓄热的防暑降温设备、电加热设备给予一次性价格补贴。补贴费纳入电力生产成本。

行政干预 用电负荷管理是电力企业的企业行

为,在正常情况下政府不干预,但在电力供应严重不足可能造成社会紊乱时期,一些国家通过立法授权政府主管部门实行行政干预。如日本电力事业法第 27 条授权通商产业省发布《限制用电规则》。历次发布的《限制用电规则》都规定在通商产业大臣认为必要时,在其指定的地区和时期内,对公用电力系统内的用户在用电量、用电最大负荷、某些用电对象、用电时间加以限制。在 1989 年 7 月 1 日发布的《限制用电规则》中具体规定为:对 500kW 以上用户,可以规定其用电量额度和用电最大负荷削减比例;在指定的时间内,禁止使用广告、灯饰类灯光;对 50kW 以上用户给予每周不多于 2 天的限电日。中国由于缺电时间较长,数额较大,长期实行计划用电,对用户下达用电指标,限额供电。

发展方向 传统的用电负荷管理是以调整用电负荷曲线为核心,从电力企业出发,多发电、多供电、多售电以取得更大的经济效益,因而重视电源建设,不重视社会节电。20 世纪 80 年代前后,可开发的水电资源日益枯竭,火电建设受到环境保护的制约,核电受到人们心理的压力和核废料处理的艰难,使电源建设的造价和运行成本大幅度上升,因此把资金投入调整用电负荷和社会节电远比投入到电源建设更为经济合理。这就迫使人们考虑使电力企业和采用调荷节电措施而节约电力、电量的用户都能从提高社会综合经济效益中分得好处。于是在一些发达国家中用于用电负荷管理的最小成本计划(least cost planning,简称 LCP)与需求侧管理(demand side management,简称 DSM)应运而生。

最小成本计划是把电力供应侧和需求侧作为一个完整的系统工程考虑,求得综合成本最低的实施计划。需求侧管理是为了实施 LCP 的电力负荷管理方法。其典型做法是在用户报装时就加以引导,在签订供用电合同时加以约束,对装用蓄冷、蓄热等避峰填谷效益好的用电设备的用户,不但给予分时电价的优惠,而且在购置费上给予一次性补贴,对采用某些节约用电设备(如节能灯等)的用户或采取节电措施(如增加建筑物保温设施等)的用户也给予一次性补贴。政府在核定电力部门电价时,既考虑为实行 DSM 而增加电力部门的盈利,也考虑通过电力部门对实行 DSM 的用户给予的补贴费,使供用电双方都对推行 DSM 有积极性,从而取得社会资源的最佳配置。

(顾嘉果)

yongdian fuhe jibie

用电负荷级别 (classification of electrical load) 按突然中断供电造成的损失程度划分的



用电负荷等级。用电负荷级别是供电和用户受电工程建设中采取相应保障供电技术措施的依据。有些国家由企业或行业主管部门,按照其生产工艺在运行中突然中断供电造成的损失程度和提高供电可靠性需要的资金,通过技术经济比较确定建设方案或标准;还有些国家制订全国统一的负荷分级建设标准。

中国由国家制订负荷分级建设标准并将用电负荷分为一、二、三级。一级负荷,包括中断供电将造成人身伤亡和将在政治、经济上造成重大损失的负荷,如造成重大设备损坏,打乱重点企业生产秩序并需要长时间才能恢复,重要铁路枢纽无法工作,经常用于国际活动的场所秩序混乱等的负荷;二级负荷,包括中断供电将在政治、经济上造成较大损失的负荷,如造成主要设备损坏,大量产品报废,重点企业大量减产等的负荷以及铁路、通信枢纽中的重要电力负荷和造成大量人员集中的公共场所秩序混乱的负荷等;三级负荷,包括不属于一、二级负荷的各种负荷。各行业具体负荷分级标准由行业标准或行业主管部门按照上述标准制定。

为了既经济又安全地供用电,用户在用电工程建设前,按用电负荷不同级别,通过技术经济比较,分别安排内部供电工程和向当地电力部门协商确定相应的外部供电方式和供电方案,对重要负荷安排相应的内部和外部备用电源工程,与用电工程同步建设。

(顾嘉棠)

yongdian fuhelu

用电负荷率 (customers load factor) 用电对象在指定时期的平均用电负荷与期内出现的最大用电负荷的比率。用电负荷率表明该期内用电的均衡程度。计算用电负荷率时用电对象以一个车间、一个用户、一个供电线路或一个地区为范围,并以指定期的不同将用电负荷率分为日负荷率、月负荷率和年负荷率。其计算公式为

$$\text{负荷率}(\%) = \frac{\text{指定期平均负荷}}{\text{指定期最大负荷}} \times 100\%$$

较长时期的用电负荷率(如月、年)常受季节性用电、休息日以及有无新用户投产等客观用电变化的影响。从促进日用电负荷调整(见用电负荷调整)出发,常以指定期内日负荷率的算术平均值作为平均日负荷率,用以考核并据以分配用电指标。其计算公式为

$$\text{平均日负荷率}(\%) = \frac{\sum \text{指定期日负荷率}}{\text{指定期日历日数}} \times 100\%$$

由于不同用户、地区的日最大负荷出现的时间有分散性,常以全电网日最大负荷规律性出现的时段内用户或局部地区的最大负荷代替日负荷率计算式中全

天的最大负荷,依此计算的日负荷率通称尖峰负荷率或定点负荷率,据以考核用电负荷调整对全电网的效果。其计算公式为

$$\text{尖峰负荷率}(\%) = \frac{\text{用户(地区)平均负荷}}{\text{电网指定最大负荷出现时段内用户(地区)最大负荷}} \times 100\%$$

(顾嘉棠)

yongdian fuhe quxian

用电负荷曲线 (load curve of electric utilization)

用电负荷随时间变化的轨迹。用电负荷曲线表明用电负荷随时间变化的规律,曲线包围的面积代表电能使用量。用电负荷曲线按用电对象可分为用电设备、车间、用户、行业、地区、电力系统用电负荷曲线等;按用电时间可分为日、周、年用电负荷曲线等。用电负荷取值分为 15、30 min, 1 h 或日、月平均值;在监视冲击负荷时则用瞬间负荷值。常用的用电负荷曲线为日用电负荷曲线、周用电负荷曲线和年用电负荷曲线。

日用电负荷曲线 以 0~24 时为横坐标,以用户、行业、地区、电力系统实际用电负荷为纵坐标绘制的用电负荷曲线。其用电负荷取值常取 30、60 min 平均值或整点瞬时值。在研究日负荷变化规律时,在月内取一个或几个代表日的负荷曲线为代表。代表日的选取对一个用户来说常以月中的正常生产日为代表;对地区、电力系统来说,常以避开法定周休日为代表。绘制日用电负荷曲线的目的是研究用电负荷中各类负荷组成和随时间变化的规律,从中分析用电负荷调整的潜力,并作为电力系统日生产运行调度的参考依据。

周用电负荷曲线 以周一至周日为横坐标,以该周每日最大、最小、平均负荷值为纵坐标分别绘制出的周最大、最小、平均用电负荷曲线。周用电负荷曲线可用于研究在一周内日用电负荷变化规律,研究调整周负荷的潜力。

年用电负荷曲线 以每年 12 个月为横坐标,并以每月的日最大负荷值、每月的日最小负荷值以及月内平均日负荷值为纵坐标分别绘制出的用户、地区、电力系统的最大、最小、平均用电负荷曲线。年用电负荷曲线主要用于研究用户、地区、电力系统用电的季节性规律,作为电力系统年生产运行调度、安排设备检修、用电负荷预计和研究年用电负荷调整潜力的重要参考依据。

(邝士茹)

yongdian fuhe tiaozheng

用电负荷调整 (load adjustment of electric

utilization) 由于电能生产有发电、供电、用电瞬间同时完成不能大量贮存的特点,而各类用电负荷又有其本身固有的用电时间特性(见用电性质),因而形成电力系统的用电高峰和低谷,使发、供电设备不能充分利用或产生供电不足。为了取得社会的最大综合经济效益,在电力系统合理调度、及时调整发电厂发电出力的同时,还要组织用户调整用电负荷,压低电力系统高峰时段的用电,增加电力系统低谷时段的用电,使用电负荷曲线趋向平稳。

促使用户调整用电负荷的方法有经济鼓励法和行政干预法两种。经济鼓励法是世界各国通用的办法,即把用户调整用电负荷增加的支出,以降低支付电费的形式留给用户;行政干预法是在电力供需矛盾尖锐时期,用行政命令的方式,压低用户在电力系统高峰时段的用电负荷。在行政干预法中世界各国常在立法上授权政府下达指令。中国 20 世纪 80~90 年代用计划用电的方式进行用电负荷管理。

按照调整负荷时间段的不同分为调整年用电负荷,调整周用电负荷和调整日用电负荷三种。

调整年用电负荷 由于一方而夏季防暑降温、冬季取暖等季节性用电负荷较集中,形成季节性高峰和低谷;另一方面,当电力系统有较大比重的调节性能差的水电站时,发电出力在年度内差别较大,迫使电力系统增加重复容量建设。这就有必要调整年用电负荷。促使用户调整年用电负荷的经济办法,主要是实行季节电价,如丰、枯水电价和短时间的特殊电价等。

调整周用电负荷 由于社会上实行五天或六天工作制,使周休日用电负荷陡降,而其他时间用电负荷很大。调整周用电负荷的经济办法是在一周内实行不同电价,行政干预办法是用户轮流错开周休日。

调整日用电负荷 由于用户一、二班生产和商业等第三产业用电多集中在白天和前夜,而居民生活用电又多集中在前夜,因此日用电负荷形成早、午、晚三个高峰,而后夜用电陡降。调整日用电负荷的经济办法是实行分时电价,行政干预办法是限制用户在电力系统高峰负荷时间的用电负荷。

调整日用电负荷要辅之以技术手段,即安装电力负荷控制装置。在实行市场经济的国家、地区,用这类装置为实行分时电价服务,中国用这类装置在 20 世纪 80 年代为计划用电工作服务,90 年代开始向为经济手段服务转变。

(郝士茹)

yongdian fuhe yuji

用电负荷预计 (load expectation of electric utilization) 对未来时段用电负荷进行的用电

水平预计。用电负荷预计是进行城乡电力系统长远规划,安排电力工程建设,组织电力生产和拟定电力系统运行方式的基本依据。

10~15 年的长期用电负荷预计是编制电力系统规划的依据;5~10 年的中期用电负荷预计常作为安排大、中型电力建设工程基本建设进度的依据;日或周的即期用电负荷预计常作为安排电力系统调度运行方式的依据;季、年度短期用电负荷预计是制订电力生产计划、电力分配计划以及发电燃料供应计划等的依据。短期用电负荷预计是电力生产运行部门、计划用电管理部门经常进行的负荷预计工作。负荷预计方法有单耗法、经验统计法和合成法等。

单耗法 按照用电单位安排的生产数量(产量或工作量)和单位产品(产值)耗电的乘积进行用电量测算,再根据用电负荷率或年最大负荷利用小时进行用电负荷预计。这一方法适用于生产任务与耗电有相对稳定关系的用电单位。

经验统计法 按照历年同期用电量增长率,通过用电分析结合即期发生的新情况进行修正后,测算用电量,然后再根据用电负荷率或年最大负荷利用小时进行用电负荷预计。它适用于用电比较稳定、且无可依据的生产任务或生产任务与用电量缺乏稳定关系的用电单位或行业。

合成法 在用电地区内,有新的较大用电单位投入或撤出运行、有新的供电区联入或改由其他电网供电时,把增加(或减少)的新用电单位(地区)的用电负荷预计与原有各行业用电负荷预计合成即可求得预计的用电负荷。对用电量的合成可直接相加(或减),对用电负荷的合成则为按用电负荷曲线合成。

以上三种方法常结合使用,互相核对。在进行电力系统用电负荷预计时,还要把线路损耗、发电厂厂用电计入。

(郝士茹)

yongdian gongluyinshu

用电功率因数 (power factor of utilization point)

用电负荷的有功功率 P 与视在功率 S 的比值。用电功率因数常以用电负荷电流 I 与电压 U 之间的相位差 φ 角的余弦表示,即 $\cos\varphi = \frac{P}{S}$ 。

电力用户内部大量的供、用电设备,如变压器、感应电动机、电力线路等,是根据电磁感应原理工作的,是感性负荷。它们除从电力系统吸取有功功率外,还要吸取无功功率,无功功率的消耗导致用电功率因数降低,因而占用了电力系统发、供电设备提供有功功率的能力,或增加了发送无功功率的设施,同

时也增加了电力系统输电过程中的有功功率损耗。因而电力企业对电力用户的用电功率因数都有要求,并按用电功率因数的高低在经济上给予奖惩。

规定及奖惩 世界各国的电力企业要求用户的用电功率因数一般在 0.85 左右。

法国 规定用户向电网取用无功电量与有功电量之比为 60% (折合功率因数为 0.8575), 低于或高于此比例时, 按单位无功电量电价给予奖惩。

日本 规定用电功率因数为 0.85, 超过或低于规定时, 按一定比例减或增收基本电费收取额。对特高压电力用户功率因数计算办法为月内每日 8~22 时的用电功率因数加权平均值。

中国 规定高压供电的工业用户和高压供电装有带负荷调整电压装置的电力用户, 功率因数为 0.90 以上; 其他 100 kV·A (kW) 及以上电力用户和大、中型电力排灌站, 功率因数为 0.85 以上; 趸售和农业用电, 功率因数为 0.80。超过或低于以上标准的, 按规定比例减或增应收电费总额。用电功率因数计算办法为月内功率因数加权平均值, 表达式为

$$\cos\varphi = \frac{W_P}{\sqrt{W_P^2 + W_Q^2}} \quad \text{或} \quad \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{W_Q}{W_P}\right)^2}}$$

式中 W_P 为月有功电量; W_Q 为月无功电量。

提高功率因数办法 有提高自然功率因数和人工补偿两种。

提高自然功率因数 未装设人工补偿装置时的功率因数, 称为自然功率因数。一般从设备选择和运行上采取措施减少无功功率需要量, 提高自然功率因数。如合理选择感应电动机, 使其额定功率与拖动的负载相匹配; 调整变压器负荷分配使其在最佳负荷状态下运行; 合理安排和调整工艺流程, 改善机电设备的工况; 控制机床、电焊机等用电设备空载运行的时间; 在生产条件允许的情况下, 采用同步电动机代替感应电动机等。

人工补偿 装用无功功率补偿设备进行人工补偿。电力用户常用的无功功率补偿设备是电力电容器, 又称并联电容器、移相电容器、静电电容器。(见用电无功补偿装置)

(翟克俊)

yongdian goucheng

用电构成 (electric consumption structure)

一般指在一个国家或地区内, 各行业用电量的组成。用电构成反映一个国家、地区在一个统计年度内, 国民经济的结构状况。其用电构成的历史变化可反映其经济发展过程。不同国家(地区)之间用电构成

的横向对比, 可反映其经济结构的相对特点和居民生活电气化水平的差异。用电行业的分类法一般由国家行政主管部门规定。由于世界各国的用电行业分类口径不完全相同, 在一个国家(地区)内, 其基层供电企业售电量按行业的分类统计往往要兼顾电费核算的需要, 因而需与执行的电价分类相适应, 同时为了便于历史对比, 难做较大改变, 因而不同国家的用电构成之间很难完全按同口径对比, 但各国的用电构成分类一般比较接近, 可以进行大致比较。用电构成还有其他分类, 不同的分类用于不同的目的。如一个电力系统按地区分布的用电量分类反映其电力潮流分布; 一个电力企业按不同电价类别的售电量分类, 用以进行财务核算; 一个用电企业按生产产品的用电量分类, 用以考核单位产品(产值)耗电量等。

从国家的行业用电构成历史发展的一般规律来看, 由于电能的应用开始于电气照明(见用电), 因此早期的用电构成中, 以照明为主的居民生活用电和商业用电占很大比重, 工业上使用的动力仍以蒸汽为主, 这是 19 世纪末叶和 20 世纪初叶人类处于利用能源第二次飞跃时期的特点。此后, 世界上主要国家用电构成的发展经历了三个历史发展时期。第一个时期: 随着人类历史进入利用能源的第三次飞跃, 电能开始在工业生产上广泛应用, 用电构成中工业用电比重逐步上升并占有很大比重, 居民生活用电和商业用电比重因之相应下降, 其比重变化的速度与不同国家、地区的经济特点、水平和技术进步速度密切相关。第二个时期: 随着社会劳动生产率的逐步提高, 劳动者要求改善生活条件, 对第三产业和居民生活用电有更高的要求, 与此同时, 以电为代表的先进科学技术, 从生产领域扩展到第三产业和居民生活, 用电构成中居民生活及第三产业用电比重又逐步提高, 工业用电比重又相应下降。第三个时期: 在一个国家, 工业用电比重与居民生活用电比重, 两项各占全部用电 1/3 左右时, 比重变化趋于平稳。世界上只有英国、美国等少数几个国家进入或接近这个时期。

工业发达国家的用电构成 世界上工业发达国家早已进入了工业用电比重逐步下降, 居民生活用电比重逐步上升时期。在产业结构比较完整的英国、美国等国家, 已进入或接近用电构成的第三个时期。主要工业发达国家用电构成见表 1~表 7。

中国的用电构成 中国的用电构成见表 8。从中国用电构成的历史变化看, 1978 年左右为进入用电构成第二个时期的大致分界点。

中国 1949~1986 年曾按旧用电分类统计。由于原统计口径过于笼统, 1987 年开始改按新口径统计。新统计口径把居民生活用电分列出来并把发电厂厂用



电和输变电损耗也归入国民经济行业用电之内。1992年中国国民经济各行业用电构成见表9。为了与世界

表 1 美国用电构成（%）

<div>年 度</div> <div>部门、行业</div>	1975	1980	1983
总 计	100	100	100
工业	40.1	38.7	35.5
其中：煤炭、石油	2.5	2.8	3.0
钢铁	3.8	3.4	2.4
化学	9.1	7.8	7.7
有色	5.7	5.8	4.0
交通运输	0.2	0.1	0.1
农业	1.7	1.7	—
商业	25.3	25.8	25.5
居民生活	31.8	33.1	35.3
其他	0.9	0.6	3.6

表 2 英国用电构成（%）

<div>年 度</div> <div>部门、行业</div>	1981	1985
总 计	100	100
工业	38.87	37.44
其中：煤炭	2.42	2.02
石油精炼	1.11	1.22
钢铁	4.69	3.57
化学	7.84	7.21
食品	2.95	3.39
造纸、印刷	2.51	2.24
非铁金属	3.29	2.51
其他工业(机械工业等)	14.06	15.28
运输业	1.26	1.17
农、林、渔业	0.97	1.60
居民生活	35.39	35.04
其他(商业、路灯等)	23.51	24.75

表 3 日本用电构成（%）

<div>年 度</div> <div>部门、行业</div>	1975	1980	1984
总 计	100	100	100
工业	66.6	63.3	60.2
其中：煤炭、石油	1.6	1.5	1.1
钢铁	15.8	14.1	12.1
化学	11.5	9.1	7.9
有色	6.1	5.1	2.7
机械	1.8	2.3	3.2
交通运输	3.2	2.9	2.7
农业	0.3	0.3	0.3
商业	8.3	10.2	12.3
居民生活	20.6	22.3	23.5
其他	1.0	1.0	1.0

表 4 法国用电构成（%）

<div>年 度</div> <div>部门、行业</div>	1977	1980	1985
总 计	100	100	100
工业	61.98	60.67	56.41
其中：电化学、电冶金	9.55	8.19	5.63
炼铁	6.19	5.36	3.71
煤炭	1.18	0.91	0.70
造纸	2.89	2.56	2.47
其他(机械等)	42.17	43.65	43.90
铁道	3.37	2.99	2.66
居民生活	24.75	26.59	30.70
其他	9.90	9.75	10.23

表 5 联邦德国用电构成（%）

<div>年 度</div> <div>部门、行业</div>	1975	1980	1985
总 计	100	100	100
工业	53.62	52.06	49.68
运输业	3.22	3.16	3.04
农业	2.31	2.11	2.06
商业和小工业	9.89	10.14	11.10
公共设施	6.29	7.14	7.70
居民生活	24.67	25.39	26.42

表 6 意大利用电构成（%）

<div>年 度</div> <div>部门、行业</div>	1978	1980	1985
总 计	100	100	100
工业	62.06	61.13	56.23
其中：能源	1.99	1.79	1.64
钢铁	12.14	12.17	10.28
化学	14.53	13.65	12.40
矿业(不含能源)	0.83	0.74	0.68
食品	2.95	3.04	3.29
纤维	4.23	4.13	4.26
造纸、印刷	4.72	4.70	4.34
非金属矿	5.77	5.95	5.34
非铁金属	4.07	4.19	3.23
金属加工、机械	8.18	8.11	7.75
运输业	3.48	3.27	3.22
农、林、渔业	1.48	1.59	1.85
居民生活	22.64	23.12	25.07
其他(商业、路灯等)	10.34	10.89	13.63



表 7 苏联用电构成 (%)

年 度 部门、行业	1950	1960	1970	1975	1980	1985
总 计	100	100	100	100	100	100
工业	75.31	73.79	69.86	67.08	63.54	64.68
运输	4.64	6.92	8.61	8.47	9.48	8.69
其他	20.05	19.29	21.53	24.45	26.98	26.63
其中:农业					10.24	10.54
居民生活				6.58	6.88	

表 8 中国用电构成 (%)

年 度 部门、行业	1949	1952	1957	1978	1986
总 计	100	100	100	100	100
农村	0.58	0.69	0.66	13.67	16.43
其中:排灌	0.23	0.26	0.25	6.94	4.15
乡村工业	0.12	0.14	0.13	0.08	5.72
工业	69.07	79.99	82.92	79	72.89
其中:煤炭工业	14.74	13.33	12.95	7.21	6.26
石油工业	0.87	1.49	1.57	3.52	4.29
黑色金属工业	5.49	9.0	13.84	13.53	11.07
有色金属工业	0.87	3.31	8.68	6.68	5.56
金属加工和机械工业	4.91	6.15	7.11	8.42	8.3
化学工业	5.2	6.6	8.75	20.56	16.51
建材工业	2.31	4.93	4.33	3.82	5.37
纺织工业	21.96	20.99	11.61	4.11	5.38
造纸工业	3.18	5.35	4.91	2.07	2.21
食品工业	6.07	6.31	4.39	1.78	3.08
交通运输业	0.58	0.95	0.43	1.08	1.16
市政生活	29.77	18.37	15.99	6.25	9.52

注:不含港、澳、台的数字。

表 9 1992 年中国国民经济各行业用电构成

行 业	用电量 (亿 kW·h)	用电比重 (%)
总 计	6362.3 (7455.4)	100
I 城乡居民生活	633.5	9.96
其中:乡村	274.8	4.32
城市	358.7	5.64
II 全行业合计	5728.8 (6821.9)	90.01
一、农、林、牧、渔、水利	505.2	7.94
其中:排灌	242.3	3.81
农副业	130.1	2.04
1. 农业	348	5.47
2. 林业	5.8	0.09
3. 畜牧业	11.3	0.18
4. 渔业	9.3	0.14

续表

行 业	用电量 (亿 kW·h)	用电比重 (%)
5. 水利业	72.3	1.14
6. 其他	58.5	0.92
二、工业合计	4653.9 (5747.0)	73.15
其中:轻工业	1182.2	18.58
重工业	3471.7 (4564.8)	54.57
其中:乡镇工业	444.1	6.98
(一)采掘业合计	820.0	12.89
1. 煤炭采选	339	5.33
2. 石油及天然气	180.1	2.83
3. 黑色金属	68.6	1.08
4. 有色金属	75.6	1.19
5. 建材及非金属	38.2	0.60
6. 采盐	9.8	0.15
7. 其他矿	1.9	0.03
8. 木材、竹材	11.7	0.18
9. 自来水	95.1	1.50
(二)制造业	3833.9 (4927)	60.26
1. 饮料、烟草	201.4	3.17
2. 纺织	278.9	4.38
3. 造纸	138	2.17
4. 电力蒸汽、热水	23.2	0.37
其中:厂用电	(547.1)	
线路损耗	(546)	
5. 石油加工	81.6	1.28
6. 煤气及煤制品	20	0.32
7. 化学工业	816.6	12.84
8. 医药	55	0.87
9. 化纤	74.2	1.17
10. 橡胶、塑料	101.2	1.59
11. 建材及非金属	412.5	6.48
12. 黑色金属	632.3	9.94
13. 有色金属	298.2	4.69
14. 金属制品	112.6	1.77
15. 机械工业	228.1	3.59
16. 交通、运输、电 气、电子设备	143.2	2.25
17. 其他工业	216.9	3.38
三、地质普查及勘探	6.0	0.09
四、建筑业	63.0	0.99
五、运输邮电通信	133	2.09
1. 交通运输	117.1	1.84
其中:管道运输	17.9	0.28
电气化铁道	89.2	1.40
2. 邮电通信	15.9	0.25



续表

行 业	用电量 (亿 kW·h)	用电比重 (%)
六、商业饮食仓储	109.7	1.72
七、其他事业	258	4.06
1. 公共服务	69.9	1.1
其中：市内公交	7	0.11
路灯	9.9	0.16
2. 卫生、体育	29.9	0.47
3. 教育、文艺	49.4	0.78
4. 科研	21.5	0.34
5. 国家机关团体	46	0.72
6. 其他	41.3	0.65

注：1. 括号中数字含厂用、线损电量。

2. 不含港、澳、台的数字。

各国对比，表中已把厂用电量和线损电量从国民经济总用电量中扣除后计算用电构成比例。

(顾嘉秉)

yongdian guanli

用电管理 (management of electrical energy use) 对电力的消费进行有目的的服务活动。电能

是一种特殊的商品，在经营销售上虽与其他商品无本质的区别，但在流通渠道、供应方式、售后服务以及供需失衡对社会产生的影响等方面，与其他商品有着明显的差异。因此，世界各国都对用电管理十分重视。用电管理的目的，首先是为了用户在用电过程中不发生人身或财产的安全问题，如不发生设备损坏、人身触电和电气火灾等。因此，需要电力企业提供这方面的安全知识和技术帮助。其次，用户希望减少电费的支出，要求电力企业提供有关合理用电、节约用电方面的知识和技能。第三为了维护正常的供用电秩序，电力企业也有义务提供供用电方面的法律知识服务，避免发生违章用电和电费纠纷。第四，保障电网的安全运行，提高发供电设备的利用率，降低发供电成本。所以用电管理实际上是电力企业按照电能的供求规律，改善服务质量，树立企业良好形象的公关工作；同时，也是指导、帮助用户实现安全用电、合理用电、降低电费的服务工作。

用电管理的工作内容有负荷管理、节约用电管理、用电安全管理，从广义上讲，还包括营业管理。

负荷管理 对需求的电力、电量进行有目标的引导和控制活动。负荷管理在中国仅是指对计划用电的管理。一个地区或一个电网内的电力负荷是由许多用电性质不同的用户组成的，这些不同类型的用户，各自都有不相同的负荷曲线。用户都按自己的意愿用

电，就会使电力系统的负荷曲线形成明显的高峰和低谷。电力系统为了满足高峰负荷时段的电力需求，就必须花费大量的资金去建电厂，但在低谷负荷时段，又要停下大量发电机，闲置了发电能力，这不论对国家，还是对供用双方，都是不经济的。为了避免上述现象的发生，世界各国都通过负荷管理工作，来促使用户调整用电负荷，保持电力系统最少的投入和最低的成本。负荷管理工作主要内容有负荷预测、负荷控制、负荷开放与控制策略的研究等。

负荷预测是制订电力系统发展规划和编制发电计划的依据。随着信息采集和处理手段的不断进步，负荷预测的精度和速度有了极大的提高。为改善电力经营，满足全社会对电力的需求，事先做好负荷预测是十分有意义的工作。(见用电负荷预计)

负荷控制是利用行政、经济和技术的手段使得某些用电负荷的使用时间和需求的程度发生变化，从而降低电力系统高峰负荷时段的电力需求，增加电力系统低谷负荷时段的用电量，并增强了电力系统在高峰负荷时段抵御不可预见因素对系统的冲击能力。负荷控制的行政手段主要有电力、电量的计划分配；技术手段主要是采用电力负荷控制装置；经济手段主要是指分时电价和超合同负荷或超分配负荷加价等。

负荷开放与控制策略的研究是为了提高电力系统运行的经济性和电力资源的合理配置，针对电力系统电源结构变化、发电燃料价格变动、新用电负荷出现等因素，研究在负荷管理上要采取哪些易于被用户接受的相应的措施。在市场经济体制下的欧美一些国家，十分注重这项工作。如在低谷负荷时段开放蓄热、蓄冷用电，减少电力系统的调峰负担；对可间断供电的负荷实行优惠电价，提高电力系统负荷率和运行的经济性等。

节约用电管理 对电力的合理使用与节约进行有目标的控制活动。它是节约能源的一个重要方面。电能是一种使用方便，清洁、易于控制和转换的二次能源，是现代社会和人民生活的必需品，同时又是一种加工量非常大的商品。如何提高电能有效利用程度，合理使用电能和改进电能应用技术、降低消耗、减少浪费，是世界各国共同关注的问题。做好节约用电工作，不仅能减少电费的支出，而且能促进设备的技术改造和工艺改革，提高劳动生产率和产品质量，在电力供应不足的地区还可减缓供需矛盾。推动节约用电的方法有：①利用一切宣传手段，如电视、广播、报刊、展览等向社会各界广泛宣传节约用电的目的、意义和节约用电知识。②利用社会上的科技力量，开展节约用电服务活动，帮助和指导用户做好节约用电工作。③帮助和指导用户做好用电管理工作，建立起电

耗定额的考核管理制度,消除用电的浪费和不合理现象。④帮助和指导用户加强供用电设备管理,对用电设备进行必要的电能平衡测试工作,针对不经济的设备采取更新或改造措施。⑤推广行之有效的节约用电技术措施(见节约用电技术)。

用电安全管理 见用电安全管理。

(刘振强 徐纪法)

yongdian jiancha

用电监察 (inspection of customers power used) 对用户用电行为进行的监督检查活动。

用户受电设备是电力系统的一个组成部分,其内部电气事故可能影响电力系统而形成公害,电能又是社会政治、经济生活必不可少的能源,因此,对用户用电行为进行非经营性管理,是十分必要的。但管理办法因各国国情不同而异。安全用电普遍受到各国的重视,在缺乏能源的国家,常把节约用电放在突出位置,作为节能的重要内容进行管理。

日本等国的用电监察 由于世界各国都把电力部门视为企业,为了保证用电监察的公正性,在第三产业比较发达的国家,用电安全检查常委托给社会专业性机构来承担,实行有偿服务并承担一定的经济责任。日本属缺能国家,企业内设置的“节能士”,根据日本法规规定,对企业内的电能(包括用电)进行监督。苏联、东欧以及巴基斯坦等国家,由国家设立的专门机构或人员负责监督检查。

中国的用电监察 中国规定由电力部门行使用电监察权。中国从1952年起,借鉴苏联的经验,在各级电力部门设置了用电监察机构,建立了用电监察制度,承担供电区域内的负荷调整、安全用电、合理用电与节约用电任务,对用户的用电开展监督、检查、指导和帮助工作。

1956年6月,电力工业部召开了全国用电监察会议,在总结经验的基础上,结合中国具体情况,决定用电监察工作的开展,应在当地政府的领导下进行,以区别于苏联的用电监察工作在国家用电监察局统一领导下,代表国家对用电单位的用电进行监察的做法。1963年拟定了《用电监察条例(草案)》并经国家经济委员会批准试行。《用电监察条例》规定的用电监察的职责仅限于调整负荷、节约用电和安全用电(简称调节安)。1972年以后,随着电力供需矛盾突出,计划用电提到重要议事日程,各地相应设置了“三电办公室”,对用电单位的电力和电量进行定额分配,建立了控制、考核、调度用电指标的一套经济和技术措施,使用电监察工作的内容发展成为以“计划用电、节约用电和安全用电”(即“三电”)为主。原有的《用

电监察条例》也相应做了修改,于1983年提出新的《用电监察条例(草案)》,报经国家经济委员会批准,作为《全国供用电规则》(见供用电规则)的附件颁布执行。

修订后的《用电监察条例》共有四章20条,比过去明确了一些工作关系和新增了一些内容:

(1)明确了用电监察与“三电”工作的关系。用电监察是推动用电管理各项工作的手段,考虑到各地已建立了“三电”机构的实际情况,认为既要充分利用“三电”机构的双重作用这一特点,又要积极做好用电监察工作,因此,新的《用电监察条例》中不再提设置用电监察机构。

(2)明确了用电监察与服务的关系。50年代开展用电监察工作时,强调监察的一面较多,要求用户做的多。1980年部颁《供电部门职工服务守则》作为供电部门职工的职业道德规范,因此,新的《用电监察条例》明确在具体工作中对用户既有“监察”的一面,同时又要强调为用户服务的一面,以进一步做好用电监察工作。

(3)在用电监察的具体工作中,新增了一些内容:检查用户执行供用电协议或供用电合同,检查用户电力消耗升降原因、节电措施实施情况和进行用电分析,参加用户重大电气设备损坏和人身触电伤亡事故的调查,协助用户主管部门加强电工的管理,检查电能计量装置,监督用户正确执行国家电价政策,检查并及时处理违章用电和窃电等,把用电监察原有的职责扩大到用电管理各个方面。这将有助于提高全社会的用电经济效益。

(4)为了有效地提高用电监察工作的水平,规定了用电监察人员应具备熟悉、通晓、掌握和了解所执行业务的基本内容,为用电监察人员的培训确定了努力方向,还规定了用电监察人员应经考试合格,取得上级颁发的“用电监察证”后方可独立工作。

(刘振强)

yongdianliang

用电量 (electrical energy used) 用电对象消耗的电能。

用电量通常以电能表计量,在未装电能表时,常以用电容量和使用时间折算,以kW·h(千瓦·时)为计量单位。调查不同用电对象的用电量有不同的应用目的,其计算范围也有差异。单台用电设备用电量,常用以考核设备的电能利用率;产品的生产用电量,用以考核单位产品(产值)耗电;用户(车间、工序、工艺)用电量(包括其内部的输变电损耗电量),常用以考核企业、车间等计划用电、节约用电的执行情况,其中一般用户用电量为供电企业对该

用户的供电量(对供电企业来说为售电量),并用作执行供用电合同的考核依据,对有自备电源的用户,其用电量还应包括该用户自发自用的电量在内;行业用电量为该行业内各生产企业用电量之和,作为用电分析和长短期负荷预测之用;地区、电网用电量除包括地区内各用户用电量之和外,还包括地区公用输变电损耗电量,用作电网潮流计算和考核地区计划用电或网间送受电经济合同的执行情况。

(顾嘉棠)

yongdian rongliang

用电容量 (capacity connected of electrical load) 用户或用电设备可能用到的最大电功率。用电容量是向供电对象进行供电工程设计计算的基础(见用电负荷计算)和供电部门营业管理的依据。用电设备、变电设备可能用到的最大电功率常与其标称的铭牌容量不完全一致,有些设备在产品设计中已考虑有一定过负荷能力(如变压器、电焊机等),有些设备,在运行中一般达不到铭牌容量(如感应电动机),在供电部门营业管理中使用的用户用电容量,习惯上以铭牌容量代替。

用户用电容量通常分为近期用电容量和远期用电容量两种。近期用电容量在正式建立供用电关系前为用户的申请用电容量,作为交纳供电贴费的依据,建立供用电关系时,作为供用电双方的合同(协议)容量,一般也作为计算基本电费的依据。远期用电容量作为设计供电设施时预留能力和电网规划的参考依据。

用户用电容量的计算:对低压用户来说为各单台用电设备容量之总和;对高压用户来说,以其接入电力系统的受电变压器标称视在功率之和为用电容量,如该用户另有不经变压器直接用电的高压电动机,应将其容量一并计入用电容量之内。

(顾嘉棠)

yongdian shebei yufangxing shiyan

用电设备预防性试验 (preventing test of electrical equipment) 对用电设备绝缘状况进行的定期试验和检查。用电设备在运行中,由于受电场力、运行温度、空气湿度和腐蚀性气体等因素影响,绝缘状况不断劣化。为判断设备能否继续投入运行,预防设备损坏和保证安全经济运行,须在停电状态下进行预防性试验。对某些试验,如绝缘电阻、介质损耗因数、泄漏电流等采用带电测试方法,更能如实地反映设备在运行中的实际状况,这也是预防性试验的发展方向。

常用的预防性试验项目有:绝缘电阻测量、泄漏电流(采用直流电压测量)测量、介质损耗因数($\text{tg}\delta$)测量、交流耐压试验四项。前三项属非破坏性试验,只对绝缘的损伤、受潮、气隙含有程度,电晕放电程度和绝缘老化程度进行判断。一般采用比较法对绝缘状况进行判断,即将本次测得的数据与本设备或与同类设备或同一设备不同相、不同绕组的历年预防性试验测得的数据作比较。非破坏性试验所加试验电压低于被试品工作电压,对绝缘损害极少。交流耐压试验属破坏性试验,通常在非破坏性试验合格后进行,以检验设备绝缘在规定时间内能否承受规定的电压,以确定设备的耐压水平及能否投入运行。破坏性试验所加试验电压比工作电压高得多,能充分暴露设备绝缘缺陷,但在试验中对设备绝缘可能带来不可逆损伤。

绝缘电阻测量 在设备维修时,广泛地将这项试验用于常规绝缘试验,以了解绝缘材料受潮、污秽、老化等状况;在电气设备使用前,测量绝缘电阻以检验设备通电时性能是否良好;判断运行设备发生故障的位置和状态。常用的测量仪器是绝缘电阻计,又称兆欧表、摇表。它由直流高压电源和直读式绝缘电阻计组合而成,有手摇式、电动式和半导体式,额定电压有500、1000、2500、5000 V。根据不同的摇测对象,选用不同规格的兆欧表进行绝缘电阻测量。绝缘电阻值取1 min的读数。

泄漏电流测量 对绝缘物施加直流电压时,通过绝缘物的电流有位移电流、吸收电流和泄漏电流,其中泄漏电流随绝缘材料种类和状态的不同,变化甚大。依据泄漏电流的变化状态,可以分析绝缘物的受潮、污秽、老化程度,对发现绝缘局部缺陷有特殊意义。泄漏电流测量属非破坏性试验,在直流电压下绝缘内部游离放电、发热等均远较交流电压下轻微。直流电压下的泄漏电流测量在逐步升压过程中,可随时监视仪表的读数,以了解绝缘状况。泄漏电流测量的试验装置由直流高压电源、电压表及直流检流计组成。

介质损耗因数($\text{tg}\delta$)测量 测量绝缘物在施加交流电压时的介质损耗因数 $\text{tg}\delta$,用 $\text{tg}\delta$ -电压特性和 $\text{tg}\delta$ -温度特性来检查绝缘物的受潮、污秽及劣化程度。 $\text{tg}\delta$ 是表示绝缘介质内功率损失的相对参数,能反应整个绝缘的分布缺陷。测量 $\text{tg}\delta$ 的仪器有西林电桥、反西林电桥、简易西林电桥、介质损耗测试仪及ZT1介质测量仪。西林电桥测量精度高,是最通用的试验设备。为了正确测量绝缘物的 $\text{tg}\delta$,在被试绝缘物上要装设屏蔽电极。

交流耐压试验 试验时对绝缘物施加高于工作电压数倍的交流试验电压,并加压一定的时间。交流耐

压试验是鉴定设备绝缘强度最有效、最直接的方法,可以判断电气设备长期使用中的安全性,是保证电气设备绝缘水平,避免发生绝缘事故的重要手段。常用的试验方法有:①在低压侧进行测量,再将数值换算到高压侧;②用电压互感器测量;③用高压静电电压表直接进行测量;④用电容分压器进行测量;⑤用球隙测量。试验装置由试验变压器、保护电阻、调压设备、电压测量仪器、击穿指示器及信号装置等组成。

(赵学林)

yongdian shenqing

用电申请 (application use electricity)

用户向供电企业提出用电或增加用电容量的书面请求。用电申请是用户报装时需办理的第一个程序。

用电申请是供用电双方建立(或变更)供用电关系的第一个步骤。为了双方安全、经济、合理的供用电,相互了解,建立起良好的合作关系,供电企业需向用户提供有关工作程序、规章制度、各项收费标准;用电申请者需向供电企业提出用电申请书并提供有关文件资料。申请书内容主要包括用户名称、用电地址、用电性质、用电容量、用电负荷、预计用电量,属于企事业性质的还需填写隶属上级、经济所有制、开户银行及帐号、企事业负责人,有保安负荷的还要填写保安用电设备容量和保安负荷数量。文件资料主要包括低压用户提供的用电负荷组成和用电设备清单,其中 100 kW 以上的用户应提供用电功率因数的计算和用电无功补偿装置容量。属于全民所有制企事业单位的基本建设和技措项目的,其文件资料应符合批准立项的文件。用电申请者提供的文件资料,主要用于供电方式或供电方案的确定和为订立供用电协议或供用电合同提供基本的依据。

(王世煌 顾嘉粟)

yongdian wugong buchang zhuangzhi

用电无功补偿装置 (the reactive power compensation of industrial system and consumers installation)

在用电端对用电设备及配电网消耗的无功功率(通称无功负荷)进行人工补偿的装置。用电无功补偿装置主要用来提高用电功率因数,使发电厂或电网少发无功功率,增加配电系统中各组成部分在允许温升和允许电压降下的供电能力,改善电压质量,减少网络中的电能损耗。在用户端进行就地补偿是降低电网输电损耗的有效方法。

常见的无功补偿装置有并联电容补偿、同步补偿器、电力电容器成套补偿装置、静止补偿装置。

并联电容补偿 并联电容补偿的主要作用是就近

向负荷供给无功,以提高用电功率因数、改善电压质量、降低线路损耗。它具有运行简便、经济可靠等优点。

构成 并联电容补偿由电力电容器、开关电器、放电装置、保护装置、自动控制器等器件组成。

(1) 电力电容器。无功补偿的主要器件。电力电容器按额定电压的不同分高压和低压两类;按相数的不同分单相和三相,普通高压电容器做成单相,低压电容器做成三相或单相;按使用场所分户内和户外两种,工矿企业常用户内型。

(2) 开关电器(见低压电器)。开关和隔离开关属于这一类,用于接通和分断补偿装置。

(3) 放电装置。为保证运行和检修人员在停电电容器上工作时的安全,根据电容器容量的大小应并联适当的放电装置。放电装置必须满足两个条件:不论电容器的额定电压高低,装置应保证在电容器切断后 30 s,其端电压不超过 65 V;放电装置的有功损耗小,一般不超过 1 W/kvar。低压电容器组的放电装置通常采用 220 V 白炽灯泡串联后接成星形或三角形,再与电容器组连接(见图 1)。用于个别补偿的低压电容器断电后,通过长期与电容器并联的电动机绕组自行放电。高压电容器组常用电压互感器作为放电装置进行放电。

图 1 低压电容器放电用灯泡的接线

(a) 灯泡三角形接法; (b) 灯泡星形接法

(4) 自动控制器。无功功率补偿装置的投切,分手动和自动两种方式。对于负荷比较稳定、功率因数变化不大的用户,一般用手动方式。控制方法有时间程序控制投切法、检测电压变化自动投切法、检测无功功率自动投切法、检测功率因数自动投切法、检测电流变化自动投切法等多种方式。

(5) 保护装置。无功补偿装置的保护根据电压等级和容量大小可采用单台熔断器保护、多台熔断器保护和继电器保护。

补偿方式 用并联电容器进行无功补偿的补偿方式有高压侧补偿、低压侧补偿、高低压侧混合补偿。

(1) 高压侧补偿:高压侧多采用集中补偿,将补偿装置接于变电所 3~10 kV 母线上(见图 2)。特点是电容器的利用率高,能减少供电系统及线路中输送的

无功功率,但不能减少通过变压器和低压供电网中的无功功率。

(2) 低压侧补偿: 低压侧补偿分为个别补偿、分散补偿和集中补偿。①个别补偿。按照单台用电设备的要求,将电容器直接与用电设备连接点共用一组开关,同时投入或退出运行(见图3)。特点是所需无功功率可就地补偿,减少工厂内部配电网和变压器的无功功率,但利用率低。②分散补偿。将电容器组接于车间

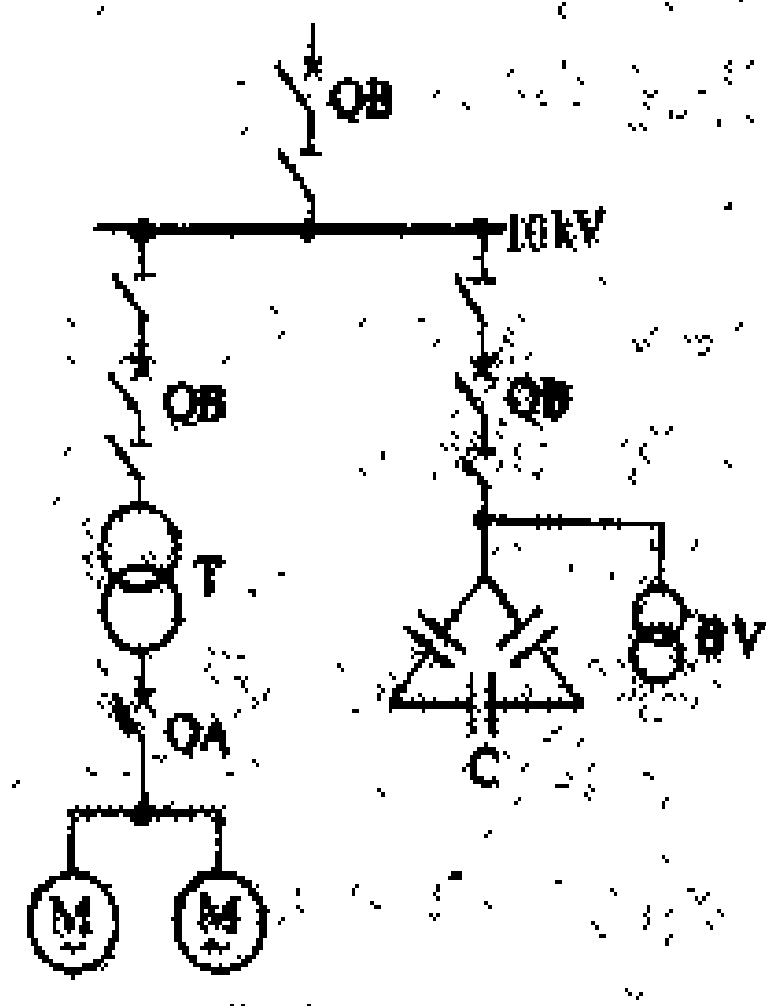


图2 高压集中补偿
C—电容器组; BV—放电线电压互感器; T—变压器; QB—断路器; QA—低压断路器; M—电动机

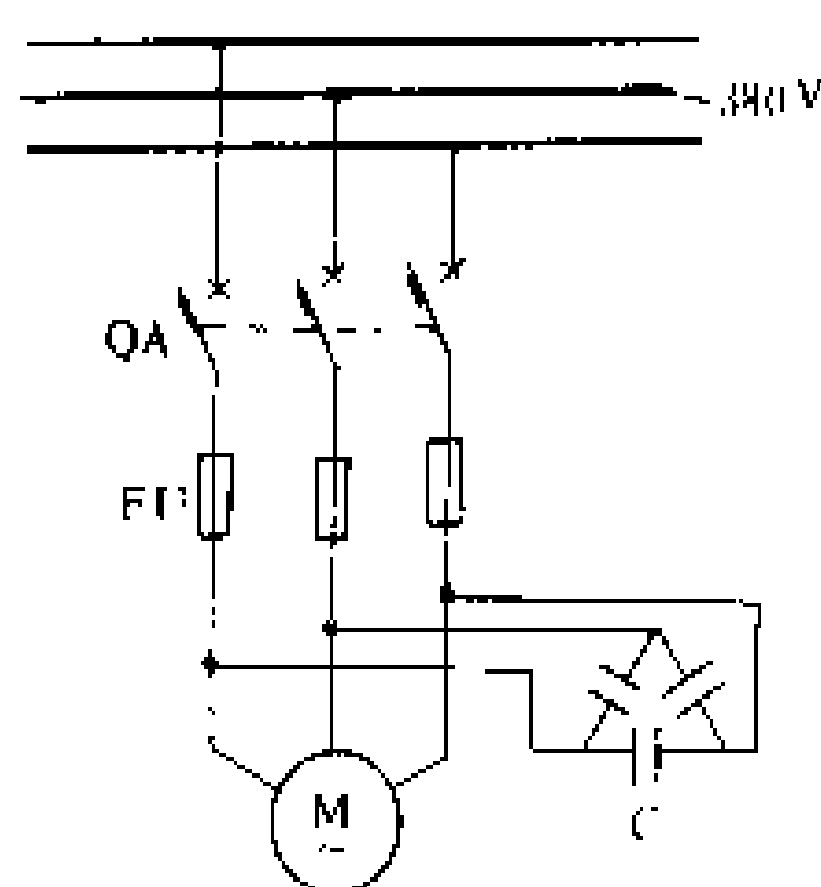


图3 低压个别补偿
C—电容器; M—电动机;
QA—开关; FU—熔断器

配电线路较长的车间,可提高末端电压。③集中补偿。在变电所低压母线上集中装设电容器组进行补偿(见图5)。它适于负荷比较集中,低压线路较短,供电半径不大的用户,能减少变压器的无功功率。

电容器补偿容量的确定 电容器补偿容量的大小决定于电力负荷的大小、补偿前的功率因数及补偿后要求达到的功率因数。补偿容量的选择可以采用以下方法确定。

(1) 计算法。一般按下列公式计算

$$Q_c = P_{av} (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

$$\tan \varphi_1 = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_1}}{\cos \varphi_1}$$

$$\tan \varphi_2 = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_2}}{\cos \varphi_2}$$

式中 Q_c 为所需的补偿容量, kvar; P_{av} 为最大负荷月的平均有功负荷, kW; $\tan \varphi_1$ 为补偿前的功率因数 $\cos \varphi_1$ 的正切值; $\tan \varphi_2$ 为补偿后要求达到的功率因数 $\cos \varphi_2$

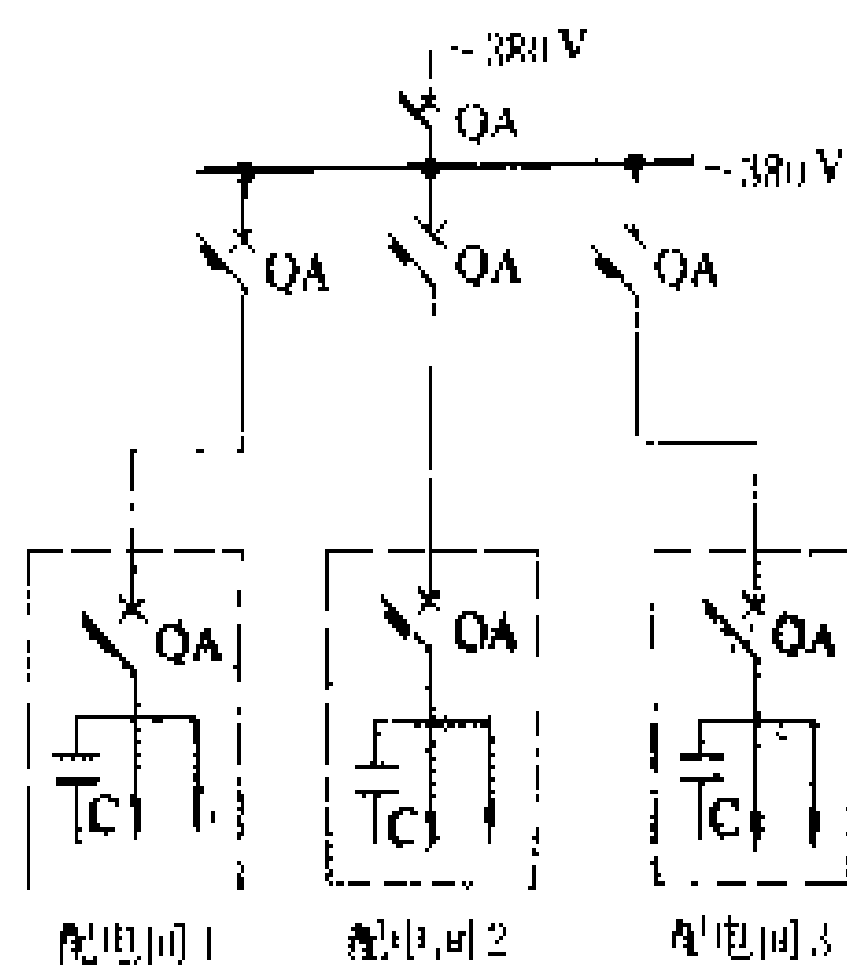


图4 低压分散补偿
QA—低压断路器; C—电容器组

的正切值; $\cos \varphi_1$ 为最大负荷月的平均功率因数; $\cos \varphi_2$ 为要求补偿后达到的功率因数。

(2) 查诺模图。诺模图如图6所示。根据补偿前后的功率因数 $\cos \varphi_1$ 和 $\cos \varphi_2$,从图6左右两坐标轴上取其相应的两点,然后将两点连线,与系数 K 的坐标轴相交于第三点,此点即为系数 K 的数值。由于 $K = \tan \varphi_1 - \tan \varphi_2$,所以补偿容量可由式 $Q_c = KP_{av}$ 算出,式中 Q_c 为所需的补偿容量, kvar; P_{av} 为最大负荷月的平均有功负荷, kW。

(3) 查表法。如表所示。表中数值为每千瓦有功负荷所需要的补偿容量 (kvar/kW), 可由补偿前的功率因数 $\cos \varphi_1$ 和补偿后的功率因数 $\cos \varphi_2$ 查出相应的数值,然后乘以有功功率的千瓦数,即得所需的补偿容量。

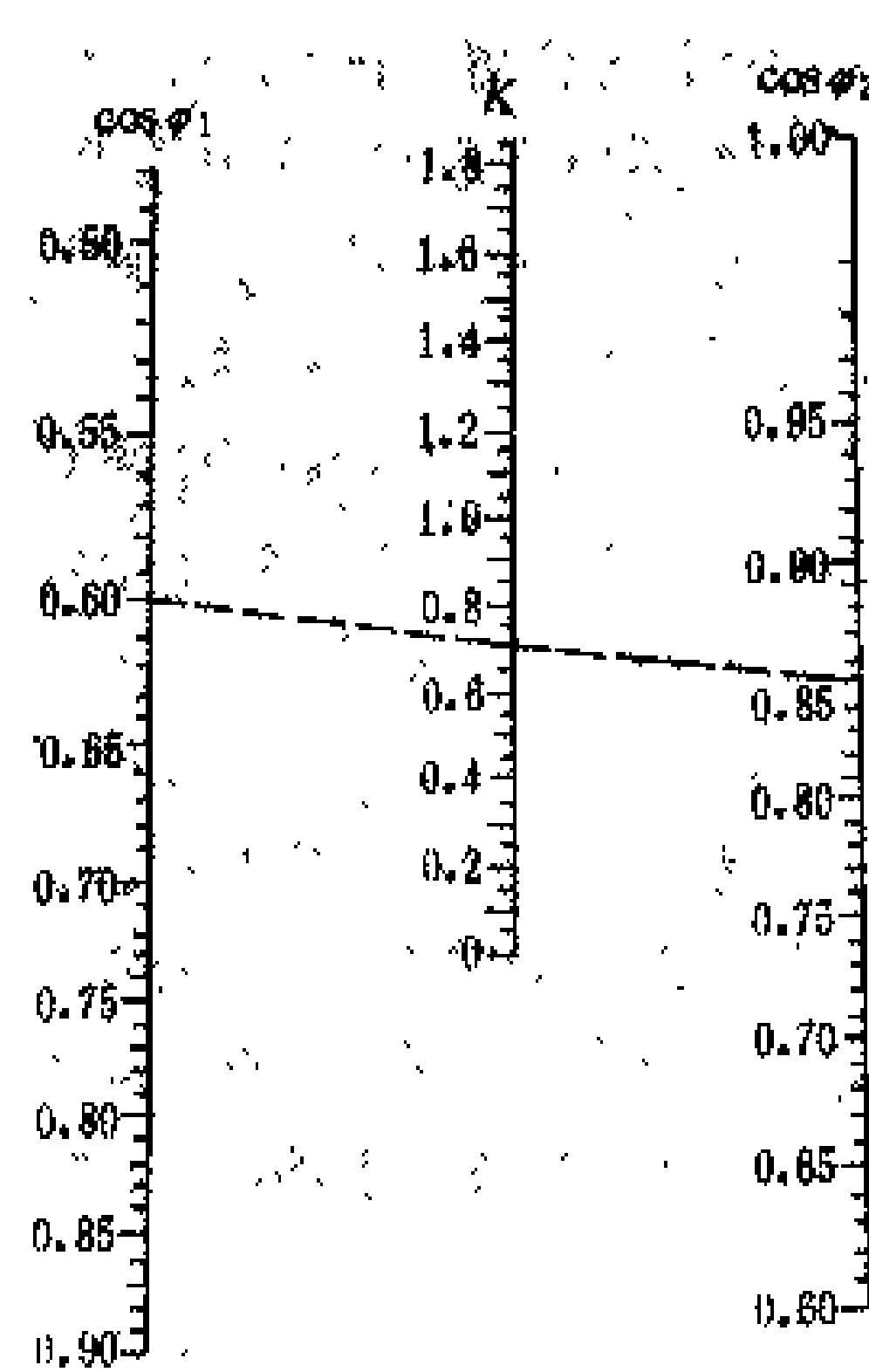


图6 计算电容补偿设备容量的诺模图

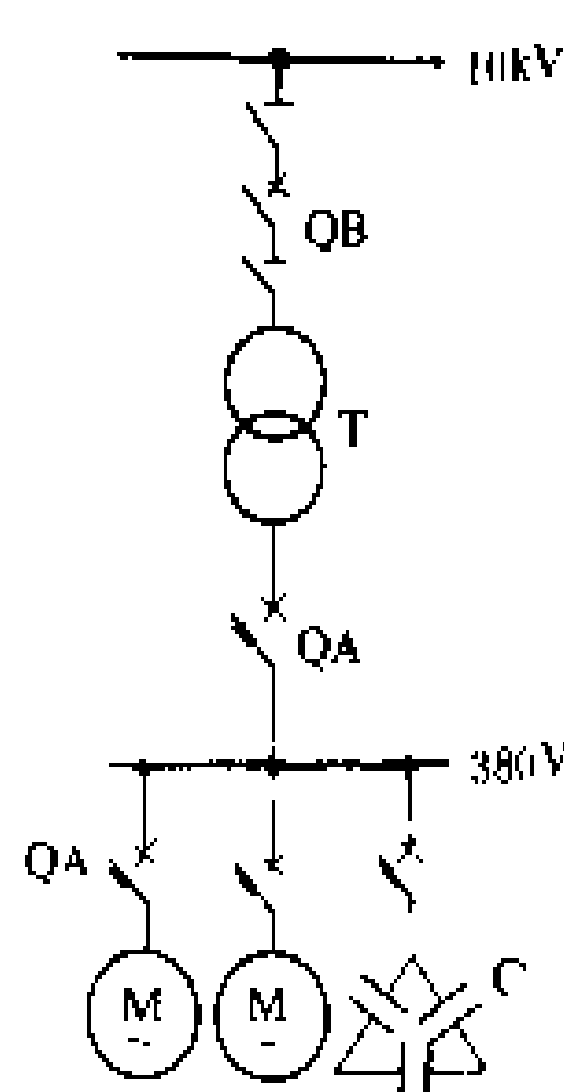


图5 低压集中补偿
QA—低压断路器;
C—电容器组; M—电动机; T—变压器;
QB—断路器

(4) 电动机补偿容量的确定。个别补偿的电动机的补偿容量按下式确定

$$Q_c \leq \sqrt{3} U I_0$$

式中 U 为电动机的电压, kV; I_0 为电动机的空载电流, A; Q_c 为所需的补偿容量, kvar。

同步补偿器 又称调相机。它实质上是空载运行的同步电动机,在过励磁运行状态下,向电力系统供给无功功率;在欠励磁运行状态下,从电力系统吸取无功功率。改变同步补偿器的励磁状态,就可平滑地改变发出的无功功率的大小和方向,同时,还能平滑地调节所在地区的电压,提高电力系统的稳定性。同步补偿器造价昂贵,组合装置不灵活,安装条件要求高,运行维护较复杂,故一般只在电力系统的枢纽变电站和大型企业变电站中采用。世界上有许多国家已不使用同步补偿器作为无功补偿装置。

电力电容器成套补偿装置 该装置系将电力电容器及其控制、保护电器按一定接线连接起来的成套装



每千瓦有功功率所需的电容器容量 (kvar)

cosφ ₁	cosφ ₂																
	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96
0.50	0.981	1.008	1.035	1.060	1.086	1.112	1.138	1.166	1.192	1.219	1.246	1.276	1.305	1.338	1.368	1.404	1.442
0.51	0.939	0.966	0.993	1.018	1.044	1.070	1.106	1.134	1.160	1.187	1.214	1.244	1.273	1.306	1.336	1.372	1.410
0.52	0.890	0.917	0.945	0.969	0.995	1.021	1.047	1.075	1.101	1.128	1.155	1.185	1.217	1.247	1.277	1.313	1.351
0.53	0.849	0.876	0.903	0.928	0.954	0.980	1.006	1.034	1.060	1.087	1.114	1.144	1.173	1.120	1.206	1.263	1.272
0.54	0.808	0.835	0.862	0.887	0.913	0.939	0.965	0.993	1.019	1.046	1.075	1.103	1.133	1.165	1.195	1.231	1.269
0.55	0.766	0.793	0.820	0.845	0.871	0.897	0.923	0.951	0.977	1.004	1.031	1.061	1.090	1.123	1.153	1.189	1.227
0.56	0.728	0.755	0.782	0.807	0.829	0.859	0.885	0.913	0.939	0.966	0.991	1.023	1.052	1.085	1.115	1.151	1.189
0.57	0.691	0.718	0.745	0.770	0.796	0.822	0.848	0.876	0.902	0.929	0.956	0.986	1.015	1.048	1.078	1.114	1.152
0.58	0.655	0.682	0.709	0.734	0.760	0.786	0.812	0.840	0.866	0.893	0.920	0.950	0.979	1.012	1.042	1.078	1.116
0.59	0.618	0.645	0.672	0.697	0.623	0.749	0.775	0.803	0.829	0.856	0.883	0.913	0.942	0.975	1.005	1.041	1.079
0.60	0.583	0.610	0.637	0.662	0.688	0.714	0.740	0.768	0.794	0.821	0.848	0.878	0.905	0.940	0.970	1.006	1.044
0.61	0.549	0.576	0.603	0.628	0.654	0.680	0.706	0.734	0.760	0.787	0.841	0.844	0.873	0.906	0.936	0.972	1.010
0.62	0.515	0.542	0.569	0.594	0.620	0.646	0.672	0.700	0.726	0.753	0.780	0.810	0.839	0.872	0.902	0.938	0.974
0.63	0.481	0.508	0.535	0.560	0.586	0.612	0.638	0.666	0.692	0.719	0.746	0.776	0.805	0.838	0.868	0.904	0.942
0.64	0.450	0.477	0.504	0.529	0.555	0.581	0.607	0.635	0.661	0.688	0.715	0.745	0.774	0.807	0.837	0.873	0.911
0.65	0.417	0.444	0.471	0.496	0.522	0.548	0.574	0.602	0.628	0.655	0.682	0.712	0.741	0.774	0.804	0.840	0.878
0.66	0.388	0.415	0.442	0.467	0.493	0.519	0.545	0.573	0.599	0.626	0.654	0.683	0.712	0.745	0.775	0.811	0.849
0.67	0.357	0.384	0.411	0.436	0.462	0.488	0.514	0.542	0.568	0.595	0.622	0.652	0.681	0.714	0.744	0.780	0.818
0.68	0.327	0.354	0.381	0.406	0.432	0.458	0.484	0.512	0.538	0.565	0.594	0.622	0.651	0.684	0.717	0.750	0.788
0.69	0.297	0.324	0.351	0.376	0.402	0.428	0.454	0.482	0.508	0.535	0.562	0.592	0.621	0.654	0.683	0.720	0.758
0.70	0.270	0.297	0.323	0.349	0.375	0.401	0.427	0.455	0.481	0.508	0.535	0.565	0.594	0.627	0.657	0.693	0.731
0.71	0.241	0.268	0.295	0.320	0.346	0.372	0.398	0.426	0.452	0.479	0.506	0.536	0.565	0.598	0.628	0.664	0.720
0.72	0.212	0.239	0.266	0.291	0.317	0.343	0.371	0.397	0.425	0.450	0.477	0.507	0.536	0.569	0.599	0.635	0.673
0.73	0.185	0.212	0.239	0.264	0.290	0.316	0.342	0.370	0.396	0.423	0.450	0.480	0.509	0.542	0.572	0.608	0.646
0.74	0.157	0.184	0.211	0.236	0.262	0.288	0.315	0.342	0.368	0.395	0.425	0.452	0.481	0.514	0.546	0.580	0.618
0.75	0.131	0.158	0.185	0.210	0.236	0.262	0.288	0.316	0.342	0.369	0.396	0.426	0.455	0.488	0.518	0.554	0.592
0.76	0.103	0.130	0.157	0.182	0.208	0.234	0.260	0.288	0.316	0.341	0.368	0.398	0.427	0.460	0.492	0.526	0.563
0.77	0.078	0.105	0.132	0.157	0.183	0.209	0.235	0.263	0.289	0.316	0.343	0.373	0.402	0.435	0.465	0.501	0.539
0.78	0.052	0.079	0.106	0.131	0.157	0.183	0.209	0.237	0.263	0.290	0.317	0.347	0.376	0.409	0.439	0.475	0.513
0.79	0.024	0.051	0.078	0.103	0.129	0.155	0.181	0.209	0.235	0.262	0.289	0.319	0.348	0.381	0.411	0.447	0.485
0.80	—	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.157	0.183	0.210	0.238	0.266	0.294	0.326	0.355	0.387	0.421	0.458
0.81	—	—	0.026	0.052	0.078	0.104	0.131	0.157	0.184	0.212	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432
0.82	—	—	—	0.026	0.052	0.078	0.104	0.131	0.158	0.186	0.213	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406
0.83	—	—	—	—	0.026	0.052	0.079	0.105	0.132	0.160	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380
0.84	—	—	—	—	—	0.026	0.053	0.079	0.106	0.134	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354
0.85	—	—	—	—	—	—	0.026	0.053	0.080	0.107	0.135	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328

置，具有安装方便、建设周期短、造价低、投资少、运行维护简便、损耗小等优点，是广泛采用的一种无功功率补偿装置。用于工矿企业 3~10 kV 供电系统的有户内开启式高压静电电容器成套装置、并联补偿成套装置；用于 380 V 供电系统的有静电电容器屏、自动控制静电电容器屏、功率因数自动补偿控制屏、无功功率补偿电容器屏等成套补偿装置。

静止无功补偿装置 简称静补，用于补偿系统动态工作情况下所需无功功率的装置。静止无功补偿装置是 20 世纪 60 年代后期发展起来的。1967 年英国 GEC 公司制成了第一批补偿容量（容性/感性）3×2/3.45 万 kvar 自饱和电抗器型静补装置。此后，联邦德国、美国、日本、瑞士、瑞典、比利时、苏联等国都生产了各具特色的系列产品，并研制出大容量的静补装置。70 年代中国第一套从比利时引进的静补装置

安装在武汉钢铁公司 1.7 m 轧机工程。1978 年中国首次将试验性静补装置安装在武汉湛家矶变电站，容量为 5 Mvar，电压为 10 kV。20 世纪 90 年代中国已具备生产电力系统、电弧炉、轧机等动态负荷所需静补装置的能力。

该装置由电抗器、电力电容器、控制装置（交流电子开关）组成。在饱和电抗器的饱和电压以上，通过所吸收电流的不断变化，来适应负荷和潮流的不同要求，达到补偿动态无功和稳定电压的目的。该装置能消除高次谐波的危害，防止系统电压的闪变，改善电力系统的稳定性，调节无功功率，改善功率因数。静止无功补偿装置分为饱和电抗器型（包括自饱和电抗器型和可控饱和电抗器型）；晶闸管相控电抗器型（TCR 型），该型又分相控电抗器型和相控高阻抗变压器型；晶闸管投切电容器型（TSC 型）；TCR 和 TSC



混合型。各类静补装置原理接线见图 7。

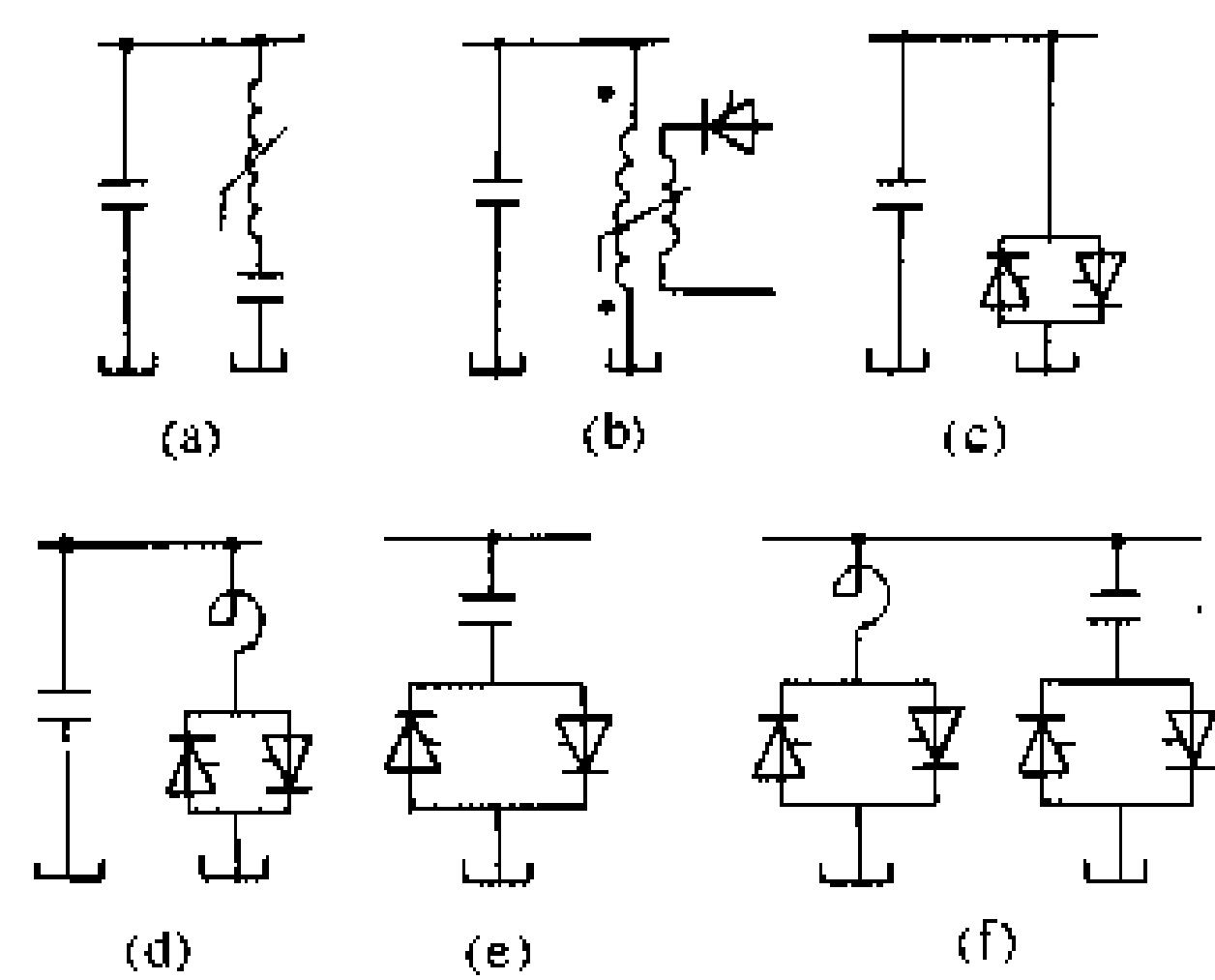


图 7 静补装置原理接线图

(a) 自饱和电抗器型；(b) 可控饱和电抗器型；(c) 相控高阻抗变压器型；(d) 相控电抗器型；(e) 投切电容器型；(f) 混合型

(赵学林)

yongdian xingzhi

用电性质 (nature of electrical load) 用户用电负荷具有的属性。用电性质指用电负荷具有的电特性，用电负荷的重要程度，用电负荷的用电时间、场合、目的和允许停电时间等。用电性质不同对供电质量的要求和影响不同，在电网用电负荷曲线中所处的位置也有差异，因而在电力系统调度、用电管理上也有区别。

用电负荷的电特性不同，对供电质量的影响不同。感性、容性负荷影响电压偏移和无功负荷潮流；冲击负荷影响电压闪变；不对称负荷影响三相电压不平衡和波形畸变；非线性负荷向电网输送谐波，引起谐波污染。用电负荷的电特性是用电管理的重要内容和确定供电方式的依据。

突然中断供电对各类用电负荷都有不同程度的影响。按用电负荷的重要程度将用电负荷分级。用电负荷对供电可靠性的要求取决于用电负荷级别。

用电负荷的用电时间指季节性、连续性和非连续性用电等。季节性用电，如农业排灌、脱粒、打场，夏季防暑降温，冬季保温采暖等用电。这类用电负荷在一段时间内用电较多而在其他时间不用或很少用电。连续性用电主要指三班连续生产的企业、车间、机台的用电。非连续性用电包括一、二班制生产运行和其他短时间运行的企业、车间、机台的用电。非连续性用电负荷必要时可作为调整用电负荷用。某些大型政治集会、重要科学试验以及节日照明等用电负荷，一般出现时间不长而中断供电造成政治、经济损失较大。用电负荷用电时间是用电负荷管理和安排供电设备计划检修的参考因素。

用电性质不同对供电质量的要求不同。对供电质量的要求包括对供电频率、电压偏移和供电可靠性的要求等。频率、电压偏移超过允许标准，对部分生产工艺将造成不同程度的生产效率降低或产品(工作)质量下降；频率、电压严重偏移甚至影响一些用电设备使用寿命或损坏、出现废品等。用电负荷对供电质量的要求是选择供电方式的重要条件，也是电网调度运行管理的重要依据。

(顾嘉栗)

yongdian zhibiao

用电指标 (quota of electrical use) 允许用电的额度。为了维持电力系统发用电的平衡和运行安全，电力系统内所有送入电力系统的电能和从电力系统取用的电能都按照一定的额度进行管理。国际上通用的管理办法是通过经济合同管理，如发电厂的上网合同，电力系统间的送受电合同，电力企业与用户的供用电合同等。中国长期实行计划经济体制，以计划指标指导经济发展，在缺电的情况下实行计划用电，对电能使用的管理办法是逐级下达用电指标代替国际上通用的合同(契约)容量、电量。用电指标是主电力系统对局部电力系统、电力系统对用户考核、控制用电的依据，也是局部电力系统或用户取得用电权的依据。

用电指标的主要内容是用电量和用电负荷，辅助内容有电耗定额、日用电负荷曲线。在辅助内容中，电耗定额是确定企业用电量指标和企业节电奖惩的依据；日用电负荷曲线是确定省、地区、用户用电最大负荷和分时段用电负荷、用电量的依据。

用电指标的下达在中国采取分级管理的原则。国家下达的用电指标包括跨省电力系统中省(自治区、直辖市)和重点企业的年度用电量指标；省、市、自治区下达的用电指标一般包括日(月)用电量、用电最大负荷或分时段用电量或用电负荷；地区电力分配部门对用户下达的用电指标，除包括省、市、自治区下达的用电指标内容外，有的还增加电耗定额、尖峰负荷率(见用电负荷率)等指标。

用电指标的调整，由原下达指标的部门(单位)进行。

(顾嘉栗)

yongdian zuida xuliang

用电最大需量 (maximum demand of electrical load) 规定时段内，用户取用的最大用电负荷。用电最大需量通常用作计算用户基本电费的依据之一。用电最大需量取计算周期内用电功率的最大

值计算,电功率常以 10、15、30 min 平均功率值为准,少数国家取视在功率值(如英国),大部分国家取有功功率值(见用电负荷)。

中国以 15 min 的平均最大有功功率值计算用电最大需量,并规定 30、60 min 平均最大有功功率的折算系数分别为 1.04~1.1 和 1.06~1.15。

(郝士茹 顾嘉乘)

yonghu

用户 (electrical customer) 注册的电能消费者。电能转换为机械能、热能、化学能、光能或其他形式能而用于生产或生活的,称为电能消费。任何单位或个人要使用电能,事前要向供电局提出申请,经办理注册登记手续,并签订供用电协议或供用电合同后,即成为用户。

用户有按合同规定,合理使用电力的权利,并承担支付相应电费的义务;用户根据生产发展和生活的变化有权向供电企业提出新增用电、变更用电、停止用电的权利,并按规定办理相应手续和承担规定的费用;无正当理由限电、停电造成对用户的损害时,用户有权要求供电企业给予赔偿,但事先通知用户的停电,用户有义务给予配合。用户应接受国家规定的由供电企业依法进行的用电监察,对不符合规定的检查或显失公平的用电处罚,有权向上级电力行政主管部门提出申诉。用户应按规定的标准和技术规范安全用电,供电企业责任事故造成用户财产损害时,用户有权要求供电企业给予合理赔偿;用户有权按计划规定的指标,进行计划用电,但无正当理由而超指标用电时,应承担相应的经济责任。

根据管理的需要,通常将用户进行分类,法国、日本等国家将用户分为电灯用户与电力用户两大类。中国对用户的分类颇为复杂,按供用关系将用户分为:直供用户、非直供用户(包括趸售用户、转供用户);按电价分为:照明用户、非工业用户、普通工业用户、大工业用户、农业生产用户、趸售用户;按供电电源特征分为:高压用户、低压用户、双电源用户、专线用户;按用电性质分为:临时用户、季节性用户、重要用户。

(1) 直供用户:由供电企业直接供电直接抄表收费的用户。

(2) 趸售用户:从供电企业趸购电能,再将电能转售给消费者,以此谋取利益的用户。趸售用户对趸出电能的供电企业来说,他是直供用户,但对趸售营业区内的电能消费者来说,他又是供电企业。

(3) 转供用户:在供电企业的公用供电设施尚未到达或供电能力不足的地区,为解决该地区其他消费

者的用电,供电企业以委托代理的方式请该地区有供电能力的直供用户,就近向其他消费者供电,称为委托代理供电。这里,受委托的直供用户又称转供用户,由转供用户供电的其他电力消费者称为被转供用户。被转供用户与直供用户享有同样的用电权利与义务,但承担供电义务的是转供用户。

(4) 照明用户:按照明电价结算电费的用户,又称电灯户,包括居民生活用户和非居民照明用户。居民生活用户主要是指仅有家庭生活用电的城乡居民用户。非居民照明用户是指其他非生产场所的照明和空调用电,信号、装饰和广告用电,道路照明用电,美容理发用电,以及用电总容量不足 3 kW 的医疗器具用电等的用户。

(5) 非工业用户:按非工业电价结算电费的用户,主要是指用电容量在 3kW 及以上,属于科研试验性或非工业性用电的用户,包括非工业性电力拖动、电加热、电解和电化学等动力用电,交通运输、通信广播、基建施工以及营业性文化设施用电等。

(6) 普通工业用户:按普通工业电价结算电费的用户,主要指受电变压器容量在 315kV·A 以下,或低压受电的工业性生产用电,包括工业生产用电,事业性单位附属工厂生产用电,交通通信等修配厂用电,城镇自来水厂用电等。

(7) 大工业用户:按两部制电价结算电费的用户,主要指受电变压器容量在 315kV·A 及以上的工业生产用电,包括工业生产用电,事业单位附属工厂生产用电,交通通信等修配厂用电,自来水厂用电等。

(8) 农业生产用户:按农业优惠电价结算电费的用户,主要是指农业养殖业和种植业用电,包括农田排涝和灌溉用电,田间作业、打井、脱粒、育苗用电,非营业性农民口粮加工和饲料加工用电,渔业、畜牧业用电等。

(9) 高压用户:以 3kV 及以上电压供电的用户。高压用户大多数自备一台或数台受电变压器。大工业用户一定是高压用户。

(10) 低压用户:以 0.4kV 及以下电压供电的用户。低压用户都无受电变压器,均由公用配电变压器供电。

(11) 双电源用户:有两个或两个以上独立电源供电的用户。

(12) 专线用户:有一条或两条以上供电线路专门供电的用户。专线用户通常采用高压供电的方式。

(13) 临时用户:用电时间短暂,一般不超过 6 个月的用户。

(14) 季节性用户:一年之中,用电的时间随季节呈规律性变化的用户。如制糖、采暖等用电。



(15) 重要用户：有重要负荷的用户。

(徐纪法 顾嘉粟)

yonghu diangong guanli

用户电工管理 (customer's electrician management)

在工矿企业和农村中，从事电气安装、运行、维护、检修的人员，称为用户电工。电工是一种特殊工种，其作业技能有很强的专业性，对作业的安全保护有特殊的要求。为了提高用户电工的作业技能和安全意识，保障电力系统和电工人身安全以及用户财产的安全，世界各国对用户电工都在上岗前进行作业技能和安全保护的专门培训，考核合格后，才准上岗作业。

中国从 20 世纪 50 年代中期起，对工矿企业电工开始进行技术培训和安全教育，60 年代中期，对农村电工也着手进行培训。经过 40 多年的努力，对用户电工管理已形成一套综合性的专业管理办法和措施。这些办法和措施对于避免和减少用户电工触电伤亡和电气事故，保障供用电双方财产安全，保障生产和社会的发展发挥了很大作用。1992 年 9 月，能源部以第 9 号令发布了《进网作业电工管理办法》，这是一个管理用户电工的行业性专业管理法规，使中国用户电工的管理步入法制管理的轨道。

用户电工管理的主要内容包括：电工基本条件审查、培训、考核、发证和日常监督管理。

电工基本条件审查 由于电工作业特殊性，对接受电工培训的人员在文化、身体健康等方面有统一的要求。其基本条件应是年满 18 周岁、身体健康、无妨碍电工作业的病症和生理缺陷、具有初中及以上文化程度、工作认真负责的人员。对经过审查符合上述条件并申请参加电工培训的人员，可以参加电工培训。

电工培训、考核和发证 电工作业按作业电网电压和作业对象的不同，可分为低压电工、高压电工、特种电工三类。低压电工和高压电工又分为安装电工、维修电工和运行（值班）电工。安装电工与维修电工按作业环境的不同分为外线工、内线工、变电工。特种电工可分为电气试验工、二次安装工、仪表工、电缆工、调度工等。电工的培训应按作业电压与作业对象的不同，分别进行。培训应注重作业安全和作业实际能力的提高，主要内容有电气基本理论知识，电力系统运行基本知识，电工作业安全知识，电工作业技能以及电工作业标准、规程、制度；教学的时间，一般低压电工不宜少于 100 学时，高压电工不宜少于 160 学时，特种电工不宜少于 120 学时；承担培训任务的单位，应具备完成教学任务的场地、设施、教员和

教学制度；承担培训任务的教员应具有较高的专业基础理论知识和作业技能以及教学经验，培训可采用课堂讲授、电化教学、现场教学、作业演示、作业实习等方式进行。

培训期满后，对电工的考核，应以教学内容为依据，结合作业的实际需要进行命题考核；考核可采用口试、笔试和实际操作等方式进行。对经考核合格者，应发给作业许可证，可以独立上岗作业。

电工日常监督管理 对用户电工的日常监督管理主要内容有：①每隔 1~2 年进行一次资格复审，检查电工身体健康状况的变化、作业行为和作业规定熟知程度以及进行新的作业技能的再教学，经复审合格者，电工资格继续有效。②深入用户现场对电工作业行为、作业现场安全保障措施进行检查。③对违反作业安全规定者或造成事故者给予教育或处罚。④办理工作单位、工种变更等事宜。

(余义浦 徐纪法)

yonghu dianli diaodu guanli

用户电力调度管理 (electric power dispatching management of customer)

电力系统的电力调度工作包括电力生产的组织、指挥、指导和协调工作，是由系统内各级电力调度机构来完成的。其主要任务是组织指挥电力系统进行正确操作，实现经济、合理、安全、稳定运行，满足社会对电力的需求。为实现整个电力系统的安全稳定运行，对用户进行电力调度管理是一个重要的方面。一般需要实行电力调度管理的用户是：①受电电压在 35kV 及以上的用户；②有多电源供电、受电装置的容量较大且内部接线复杂的用户；③有两回路及以上线路供电，并有并路倒闸操作的用户；④有自备电厂并网的用户；⑤用电性质重要或对供电质量有特殊要求的用户等。用户电力调度管理的内容主要有签订调度协议、用户电力调度值班员的管理、运行操作管理、用户负荷管理和计划检修管理等。

签订调度协议 实行电力调度管理的用户，在接电前，需要与供电部门的调度机构签订调度协议，明确双方调度的范围与责任。

用户电力调度值班员的管理 属于电力调度管理的用户，应按要求配备自己的电力调度值班员。对用户电力调度值班员的基本要求是：①熟悉掌握电力部门的电力调度规程的有关规定以及双方签订的有关协议或合同；②熟悉制度并掌握调度管理、运行操作术语等基本知识；③熟悉本单位电气设备性能与接线；④具有指挥本单位配电系统运行操作和事故处理的实际能力。用户的电力调度值班员需经过电力部门培训并

经考核合格后才允许上岗。

运行操作管理 运行操作是否规范和正确对用户供电的可靠和电能质量以及电力系统的安全至关重要。用户自备电厂或多电源的并列、解列，供电线路与主变压器的停电送电，受电变电站一次母线接线方式改变，主变压器改变分接头，中性点接地方式改变，继电保护装置的投入或退出，检修前挂接地线或竣工后拆除接地线等，都要操作一定的设备。按调度协议规定属于电力部门调度管理的设备，用户在操作前，需向电力部门调度提出申请，经电力部门调度同意，用户才可操作改变原来的运行方式，并作好相应的记录，以备今后查阅。

用户负荷管理 用户的用电负荷是随机变化的，为了掌握用户电力需求和负荷变化规律，以便编制电力系统的运行方式，有功、无功电力的平衡计划以及缺电或事故状况下的计划限电或事故限电的序位表，用户要按规定提出年、季、月的用电计划，并向电力部门调度报告前月实际负荷与当月负荷预计。当用户内部发生故障而降低负荷时，用户要及时向电力部门调度报告负荷变化和恢复情况，对大容量设备的启动或停止保安用电线路或保安负荷需变动等，也要事前与电力部门调度取得联系，以利于电力部门采取相应的措施进行调整。

计划检修管理 为避免重复停电，减少停电的时间，发、供、用电设备的计划检修要统一安排。用户根据本单位的生产安排和设备健康状况，事先向电力部门提出年度设备检修时间，检修设备，检修期间的负荷、电量。电力部门根据电力系统设备健康状况，综合考虑安排每月的停电检修计划，并用书面或其他手段通知用户，以便相互配合。电力系统临时检修，应尽可能提前通知用户。对事故断电，电力部门要组织力量抢修，尽快恢复供电。电力部门计划检修一般利用节假日、轮休日或电力系统低负荷时段进行。

(余义浦 徐纪法)

yonghu dianqi shigu guanli

用户电气事故管理 (electric faule management of customer)

对用户发生的电气事故进行调查、分析，并提出防范对策的活动。用户内部供用电设备发生电路故障或电路失去控制的事件，称为用户电气事故。纳入用户电气事故管理范围内的事故有：用户影响电力系统的事故、全厂停电事故、重大电气设备损坏事故、反送电事故、人身触电伤亡事故、电气火灾事故、专用线掉闸事故。用户发生电气事故，不仅直接给用户生产、人身安全和财产安全带来损害，而且有的事故可波及电力系统，造成电力

系统中其他用户断电或危及电工作业人员的人身安全。用户电气事故管理也是用电安全管理的内容之一。用户电气事故管理的目的是，查明事故发生的原因，分清事故造成的责任，分析事故发生的特点和规律，提出反事故措施，防止同类事故再次发生。

事故调查要讲究方法，到达事故现场后，首先听取事故当事人对事故过程的介绍，对照现场弄清事故发生的全过程，然后才可开始现场检查和现场调查。现场检查时要检查自动保护装置动作指示情况，查阅发生事故前后有关记录，如气象、运行记录以及试验、检修、缺陷记录等，查看事故设备损坏部位和损坏程度，必要时，可对自动保护装置如继电保护、防雷设备等进行复试检查，为事故分析判断提供可靠依据。现场调查要搞清楚事故类型，事故当事人基本情况及应负的责任，事故设备名称、型号及损坏部位与损坏程度，找出事故直接原因和波及范围，事故发生的时间和恢复送电时间，事故造成的直接经济损失情况等。

在事故事实清楚，证据充分的基础上，可以召集有关人员对事故进行分析。事故分析要广泛听取意见，以事实为依据，以技术标准、管理制度为准则，找出事故的真正原因，分清事故责任，寻找出技术上管理上的漏洞，从中吸取教训，提出反事故的对策，以防类似事故重演。

对用户提出的典型的且具有普遍教育意义的事故报告，应当通报其他用户以利于所有用户从中吸取教训，进一步搞好用电安全管理工作。

(余义浦 徐纪法)

yonghu dianqi shiyan

用户电气试验 (electric experiment of customer)

利用技术手段，对用户电气设备和电气安全用具的电气性能进行的检查测试。电气设备和电气安全用具的电气性能必须符合技术要求，才能安全可靠使用。用户电气设备在运输安装、检修后以及使用过程中，都要按规定进行电气试验，以检验设备设计、制造、安装、检修质量，判断设备的可用性。由于电气设备种类繁多，功能各异，适用环境也不一样，因此，不同种类的电气设备的电气试验项目、试验标准及试验周期也有所差别。用户电气设备应进行的电气试验有交接试验、预防性试验、检修试验和事故分析试验。

交接试验 电气产品经过运输、安装竣工后进行的试验。目的是验证安装质量。试验合格后，方可正式移交生产单位运行。交接试验一般由施工安装单位承担。交接试验报告及记录应提交工程验收临时组织



查核。验收合格后再将试验报告及记录转交生产单位存档备查。

预防性试验 运行中的电气设备,按规定期限进行的试验。目的是验证运行中的电气设备有无隐患,以采取对策,确保运行安全。预防性试验是运行中的监督性检查,是保证运行安全的一项重要措施。用户高压电气设备的预防性试验,一般由电力部门认可的有试验能力的单位承担或由用户委托电力部门进行试验。各类电气设备预防性试验的项目、周期、标准应符合有关电气设备预防性试验标准的要求。

检修试验 电气设备检修或修理后进行的试验。目的是验证检修或修理后设备的质量。试验的项目随检修与修理的对象而定,试验的标准应符合有关电气设备预防性试验标准的要求。

事故分析试验 发生事故以后,设备出现异常现象,为判断设备损伤程度和性能异变情况而进行的试验。目的是验证设备可用性并为事故分析提供依据。

(余义浦 徐纪法)

yonghu dianya wugong guanli

用户电压无功管理 (voltage and reactive power management of customer) 在交流电路中,电压的产生,电能的传输、变换都离不开电磁场的作用。交流电磁场的建立需要吸收大量的无功功率,如交流电动机、变压器等的交流电磁场的建立吸收了大量无功功率。电力系统中的无功功率与有功功率有着同样重要的作用。电力系统无功功率平衡程度及其随机调节性能,对系统的电压质量优劣有着重要作用。系统无功功率严重不足或配置不当会引起电力系统或局部电网出现低电压运行状况,这不仅会使电气设备性能降低,电能损耗增加、寿命缩短、生产效率下降,还会使电力系统抗御事故冲击能力减弱,给电力系统的安全稳定运行构成潜在的威胁。电力系统无功功率调节手段不足或调节能力差,会加剧电压偏移和电压波动的程度,出现高峰负荷时段电压偏低,低谷负荷时段电压过高,如是周期性冲击负荷,则会引起闪变。因此,做好电力系统无功功率的平衡和有效调节,是保证电压质量的基础工作,也是提高电力系统安全稳定运行的重要措施。

对用户供电的电压质量,是以用户受电端电压质量来考核的。它的优劣除与电网结构、电源配置、运行方式及无功调节能力等因素有关外,还与用户自身负荷特性、无功补偿方式、容量及调节能力有关。因此,一些国家在规定供电电压质量标准的同时,对用户的用电功率因数也作出相应的规定,对达不到规定的,还允许电力部门按功率因数来调整用户的电费

(见功率因数调整电费),以求刺激用户进行无功补偿,提高电压质量。

用户电压无功管理主要有电压质量的监督、无功管理和改善电压质量等三个方面的工作。

电压质量的监督 用户受电端的电压质量要符合国家规定的标准(见供电质量)。对用户电压质量的监督,首先要选择有代表性的用户,即选择的用户端电压有可能出现最差的质量,如供电线路首端或末端的用户;选择的用户要在整个供电区域内每级电压中呈现均匀分布;选择的用户数量应能满足数理统计大子样的要求。然后,对用户受电端电压进行实测。实测的方法有电压自动记录仪、人工定时实测等。人工定时实测的日期、时间应具有可比性,最好在同一日期时间内监测。最后,对用户端电压的实测数据进行统计分析,并与电网电压监视中枢点数据进行对比分析,并将分析的结果反馈给运行部门,用以指导无功管理与电压的调整。

无功管理 用户无功的管理分为接电前和运行中两个阶段。对新装用户在接电前进行无功管理的目的是使用户在用电以后有尽可能高的自然功率因数、经济合理的调压方式与无功补偿措施。接电前无功管理的主要内容是指导用户正确选择机电设备,做到匹配合理;合理选择变压器容量、调压方式、调压范围和每级调压幅度;在进行无功负荷计算的基础上,经技术经济比较确定无功补偿方式、容量及调整方式以及配置的方案。在运行中对用户进行无功管理的目的是在保证电压质量的前提下,使用户的无功实现就地平衡。运行中无功管理的主要内容是指导用户按电压或功率因数自动投切无功补偿设备,做好无功设备的运行维护;在无功补偿设备全部投入,仍不能保证电压质量时,应采取调整变压器分接头等调压措施。

改善电压质量 用户的电压质量不符合规定时,要分析引起电压质量不合格的原因与责任,并采取相应改善电压质量的措施。责任属于电力部门时,电力部门应根据系统情况,采取有效的调压措施。调压措施有:①增减无功功率进行调压,如增减发电机、调相机、并联电容器、并联电抗器的无功功率等;②改变有功和无功潮流分布进行调压,如采用调压变压器、调整变压器分接头;③改变网络参数进行调压,如投入或切除串联电容器、停或投并列运行变压器台数。责任属于用户时,用户可针对性地采取改善措施。如线路电压损失过大,则应更换为大截面导线或增加供电回路;如无功功率消耗太多,则要增加无功补偿容量或合理选配机电设备,停用或限制空载设备,提高自然功率因数;电网电压在上限运行,用户电压质量仍不合格时,则要采用调整变压器分接头来

调压；对电压质量有较高要求的用电设备，则应加装自动调压装置等。

(余义浦 徐纪法)

yonghu fuhe jisuan

用户负荷计算 (customer's load calculation)

为进行用户供配电工程设计而对用电负荷进行的计算。用户负荷计算的计算结果准确与否将影响设备选择、工程造价及建成投产后供配电系统的安全、经济和合理运行。

负荷计算的步骤应从计算单台和成组电气设备的计算负荷开始；再计算车间干线负荷和车间变电所的低压母线负荷，加上车间变电所的变压器损耗以及用户内部高压线路的损耗，直至计算出用户总降压变电所低压母线上的负荷；然后，加上主变压器及电网供电线路中的功率损耗，即得到用户计算负荷。

名词术语 主要有计算负荷、设备容量、连接容量、负荷系数、同时使用系数、需要系数。

计算负荷 按发热条件选择供用电系统元件而需要计算的负荷功率或负荷电流，称为计算负荷。由于中小截面导线发热时间常数(T)一般在10 min 以上，导线达到稳定温升的时间约为3T，即30 min。为使计算方法一致，通常采用30 min 平均最大负荷作为计算负荷。计算负荷的有功功率、无功功率、视在功率及电流分别记为 P_{ca} 、 Q_{ca} 、 S_{ca} 及 I_{ca} 。

设备容量 通常以 P_m 或 S_m 表示。对一般电动机，设备容量是指铭牌容量 P_N 。对反复短时工作的电动机，设备容量则指暂载率(电动机工作时间与工作周期的比值) $\epsilon=25\%$ 时的容量。如 ϵ 值不为25%，则应将其换算成 $\epsilon=25\%$ 时对应的容量。换算式为

$$P_m = \sqrt{\frac{\epsilon_N}{\epsilon_{25\%}}} \times P_N = 2 \sqrt{\epsilon_N} \times P_N$$

式中 P_N 为 $\epsilon=\epsilon_N$ 时电动机的额定容量，kW。

对电焊机一类设备来说， P_m 是指

$\epsilon=100\%$ 时的容量。同样，当 $\epsilon \neq 100\%$ 时，也应按上述方法进行换算，即

$$S_m = \sqrt{\frac{\epsilon_N}{\epsilon_{100\%}}} \times S_N = \sqrt{\epsilon_N} \times S_N$$

式中 S_N 为 $\epsilon=\epsilon_N$ 时电焊机的额定容量，kV·A。

连接容量 通常用 P_b 或 S_b 表示。它是指在额定负荷和额定电压下所需要的容量。以电动机为例，有

表 1 低压用电设备需要系数 K_{Σ} 及功率因数

低压用电设备类别	K_{Σ}	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$
单独传动的金属加工机床 冷加工车间 热加工车间	0.14~0.16 0.20~0.25	0.50 0.55~0.60	1.73 1.52~1.33
压床、锻锤、剪床及其他锻工机械	0.25	0.60	1.33
连续运输机械 连锁的 非连锁的	0.65 0.60	0.75 0.75	0.88 0.88
轧钢车间反复短时工作制机械	0.30~0.40	0.50~0.60	1.73~1.33
通风机 生产用 卫生用	0.75~0.85 0.65~0.70	0.80~0.85 0.80	0.75~0.62 0.75
泵、活塞式压缩机、鼓风机、电动发电机组、排风机等	0.75~0.85	0.80	0.75
透平压缩机和透平鼓风机	0.85	0.85	0.62
破碎机、筛选机、碾砂机 磨碎机 铸铁车间造型机	0.75~0.80 0.80~0.85 0.70	0.80 0.80~0.85	0.75~0.62 0.88
水银整流器(在变压器一次侧) 电解车间用 起重机负荷 电气牵引用	0.90~0.95 0.30~0.50 0.40~0.50	0.82~0.90 0.87~0.90 0.92~0.94	0.70~0.48 0.57~0.48 0.43~0.36
感应电炉(不带功率因数补偿装置) 高频 低频	0.80 0.80	0.10 0.35	10.05 2.67
电阻炉 自动装料 非自动装料	0.70~0.80 0.60~0.70	0.98 0.98	0.20 0.20
小容量试验设备和试验台 带电动发电机组 带试验变压器	0.15~0.40 0.10~0.25	0.70 0.20	1.02 4.91
起重机 锅炉房、修理、金工、装配车间 ($\epsilon=25\%$) 铸铁车间、平炉车间($\epsilon=25\%$) 轧钢车间、脱锭工部等	0.05~0.15 0.15~0.30 0.25~0.35	0.50 0.50 0.50	1.73 1.73 1.73
电焊机 点焊与缝焊用 对焊用	0.35 0.35	0.60 0.70	1.33 1.02

续表

低压用电设备类别	K_{re}	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$
电焊变压器			
自动焊接用	0.50	0.40	2.29
单头手动焊接用	0.35	0.35	2.68
多头手动焊接用	0.40	0.35	2.68
焊接用电动发电机组			
单头焊接用	0.35	0.60	1.33
多头焊接用	0.70	0.75	0.80
电弧炼钢炉变压器	0.90	0.87	0.57
煤气电气滤清机组	0.80	0.78	0.80

表 2 3、6、10 kV 高压用电设备需要系数 K_{re} 及功率因数

高压用电设备类别	K_{re}	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$
电弧炉变压器	0.92	0.87	0.57
转炉鼓风机	0.70	0.80	0.75
水压机	0.50	0.75	0.88
煤气站;排风机	0.70	0.80	0.75
空气站;压缩机	0.70	0.80	0.75
氧气站;压缩机	0.80	0.80	0.75
轧钢设备	0.80	0.80	0.75
试验电动机组	0.50	0.75	0.88
高压给水泵(感应电动机)	0.50	0.80	0.75
高压输水泵(同步电动机)	0.80	0.92	-0.43
引风机、送风机	0.80~0.90	0.85	0.62
有色金属轧机	0.15~0.20	0.70	1.02

$$P_{in}=P_m/\eta_N$$

$$S_{in}=(P_{in}/\eta_N)\cos\varphi_N$$

式中 η_N 为额定负荷时电动机的效率; $\cos\varphi_N$ 为电动机额定功率因数。

负荷系数 通常用 K_L 表示。它是指电气设备的实际负荷功率与其设备容量之比,即

$$K_L=P/P_m$$

同时使用系数 通常用 K_w 表示。它是各组同时工作着的电气设备与接于线路中全部设备总容量的比值,即

$$K_w=P_{w.m}/\Sigma P_m$$

式中 $P_{w.m}$ 为工作着的电气设备容量; ΣP_m 为接于线路的全部电气设备的总容量。

需要系数 又称需用率,通常以 K_{re} 表示。它是计算负荷 P_{re} 与设备容量 P_m 之比,即

$$K_{re}=P_{re}/P_m$$

需要系数的数值与设备效率 η_N 、线路效率 η_l 、负荷系数 K_L 以及同时使用系数 K_w 有关,即

$$K_{re}=K_wK_L/\eta_N\eta_l$$

由于式中各系数的确定较繁,因此 K_{re} 按表 1~表 4 的经验统计值确定。

计算方法 有需要系数法和二项式法。

需要系数法 用需要系数法确定计算负荷是一种比较简便的方法。

(1) 单台或多台同类用电设备的计算负荷的计算公式如下

$$P_{re}=K_{re}P_N \tag{1}$$

$$Q_{re}=P_{re}\operatorname{tg}\varphi \tag{2}$$

$$S_{re}=\sqrt{P_{re}^2+Q_{re}^2} \tag{3}$$

式中 P_N 为单台设备额定功率或多台设备额定功率的总和, kW; P_{re} 为计算有功负荷, kW; Q_{re} 为计算无功负荷, kvar; S_{re} 为计算视在负荷, kV·A; K_{re} 为需要系数; $\operatorname{tg}\varphi$ 为功率因数正切值。 K_{re} 、 $\operatorname{tg}\varphi$ 值可根据用电设备的类别从表 1、表 2 中选取。

表 3 确定各车间低压计算负荷用的需要系数 K_{re} 及功率因数

车间类别	K_{re}	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$
铸钢车间 (不包括电弧炉)	0.30~0.4	0.65	1.17
铸铁车间	0.35~0.4	0.7	1.02
锻压车间 (不包括高压水泵)	0.2~0.3	0.55~0.65	1.52~1.17
热处理车间	0.4~0.6	0.65~0.7	1.17~1.02
焊接车间	0.25~0.3	0.45~0.5	1.98~1.73
金工车间	0.2~0.3	0.55~0.65	1.52~1.17
木工车间	0.28~0.35	0.6	1.33
工具车间	0.3	0.65	1.17
修理车间	0.2~0.25	0.65	1.17
落锤车间	0.2	0.6	1.33
废钢铁处理车间	0.45	0.68	1.08
电镀车间	0.4~0.62	0.85	0.62
中央实验室	0.4~0.6	0.6~0.8	1.33~0.75
充电站	0.6~0.7	0.8	0.75
煤气站	0.5~0.7	0.65	1.17
氧气站	0.75~0.85	0.8	0.75
冷冻站	0.7	0.75	0.88
水泵站	0.5~0.65	0.8	0.75
锅炉房	0.65~0.75	0.8	0.75
压缩空气站	0.7~0.85	0.75	0.88

(2) 多台不同类别用电设备的计算负荷(车间变电所的计算负荷):先将用电设备按表 1、表 2 的分类,分别确定其 $K_{\Sigma P}$ 和相应的 $\text{tg}\varphi$ 值,之后按下式计算

$$P_{\Sigma} = K_{\Sigma P} \Sigma K_{\Sigma} P_N \tag{4}$$

$$Q_{\Sigma} = K_{\Sigma Q} \Sigma K_{\Sigma} P_N \text{tg}\varphi \tag{5}$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2} \tag{6}$$

式中 $K_{\Sigma P}$ 为有功同时系数,可按不同的车间类别由表 5 得到; $K_{\Sigma Q}$ 为无功同时系数,一般与 $K_{\Sigma P}$ 相同。

表 4 确定各种工厂计算负荷用的
需要系数 K_{Σ} 及功率因数

工厂类别	K_{Σ}		最大负荷时功率因数 $\cos\varphi$	
	变动范围	建议采用	变动范围	建议采用
汽轮机制造厂	0.38~0.49	0.38	—	0.88
锅炉制造厂	0.26~0.33	0.27	0.73~0.75	0.73
柴油机制造厂	0.32~0.34	0.32	0.74~0.84	0.74
重型机械制造厂	0.25~0.47	0.35	—	0.79
机床制造厂	0.13~0.3	0.2	—	—
重型机床制造厂	0.32	0.32	—	0.71
工具制造厂	0.34~0.35	0.34	—	—
仪器仪表制造厂	0.31~0.42	0.37	0.8~0.82	0.81
滚珠轴承制造厂	0.24~0.34	0.28	—	—
量具刃具制造厂	0.26~0.35	0.26	—	—
电机制造厂	0.25~0.38	0.33	—	—
石油机械制造厂	0.45~0.5	0.45	—	0.78
电线电缆制造厂	0.35~0.36	0.35	0.65~0.8	0.73
电气开关制造厂	0.3~0.6	0.35	—	0.75
阀门制造厂	0.38	0.38	—	—
铸管厂	—	0.5	—	0.78
橡胶厂	0.5	0.5	0.7	0.7
通用机器厂	0.34~0.43	0.4	—	—

续表

工厂类别	K_{Σ}		最大负荷时功率因数 $\cos\varphi$	
	变动范围	建议采用	变动范围	建议采用
小型造船厂	0.32~0.5	0.33	0.6~0.8	0.7
中型造船厂	0.35~0.45	有电炉时取高值	0.7~0.8	有电炉时取高值
大型造船厂	0.35~0.4	有电炉时取高值	0.7~0.8	有电炉时取高值
有色冶金企业	0.6~0.7	0.65	—	—
化学工厂	0.17~0.38	0.28	—	—
纺织工厂	0.32~0.60	0.50	—	—
水泥工厂	0.50~0.84	0.71	—	—
锯木工厂	0.14~0.30	0.19	—	—
各种金属加工厂	0.19~0.27	0.21	—	—
钢结构桥梁厂	0.35~0.40	—	—	0.60
混凝土桥梁厂	0.30~0.45	—	—	0.55
混凝土轨枕厂	0.35~0.45	—	—	—

表 5 需要系数法使用的同时系数 $K_{\Sigma P}$

应用范围	$K_{\Sigma P}$
确定车间变电所低压母线的最大负荷时所采用的有功负荷同时系数: 冷加工车间 热加工车间 动力站房	0.7~0.8 0.7~0.9 0.8~1.0
确定配电所高压母线的最大负荷时所采用的有功负荷同时系数: 计算负荷小于 5000 kW 计算负荷为 5000~10000 kW 计算负荷超过 10000 kW	0.9~1.0 0.85 0.8

- 注: 1. 一般无功负荷的同时系数 $K_{\Sigma Q}$ 与有功负荷同时系数 $K_{\Sigma P}$ 相同;
2. 当用全厂各车间、站房的负荷直接计算全厂最大负荷时,应同时乘以表中两种同时系数。

(3) 车间低压的总计算负荷:首先求出车间用电设备的总装接容量,按式(1)~式(3)计算出相应的计算负荷 P_{Σ} 、 Q_{Σ} 、 S_{Σ} 。此时 P_N 为车间低压用电设备总装接容量,kW; K_{Σ} 、 $\text{tg}\varphi$ 可按车间类别从表 3 中得到。

(4) 全厂的总计算负荷:已知全厂用电设备的总装接容量,包括高压和低压用电设备,也可按式 (1)

~式(3)计算出相应的计算负荷 P_{ca} 、 Q_{ca} 、 S_{ca} 。此时 P_N 为全厂用电设备总装接容量，kW； K_{Σ} 可按工厂性质和类别查表4得到。

二项式法 需要系数法中，需要系数是与用电设备台数及容量都无关的常数，这对确定电气设备台数多、总容量大或具有一定规模的车间变电所的计算负荷是可行的。但在确定设备台数不多的车间干线或支干线的计算负荷时，由于其中数台大容量设备对计算负荷的影响被忽略了，使得计算结果不够准确。因此，为了反映数台大容量设备对计算负荷的影响，可采用二项式法来确定用电设备组的计算负荷。经验公式为

$$P_{ca}=bP_m+CP_n \tag{7}$$

式中 bP_m 为用电设备组的平均负荷； P_m 为用电设备组的设备容量； CP_n 为用电设备组中 n 台容量大的设备运行时的附加负荷； P_n 为 n 台最大容量设备的总容量； b 、 c 为二项式系数，可根据用电设备类别从表6中选用。

表6 二项式法使用的系数

用电设备类别	二项式系数		$\cos\varphi$	$\tan\varphi$	需要系数 K_{Σ}
	b	c			
大批生产和流水作业的机械加工车间的机床电动机	0.26	0.5	0.65	1.17	0.3~0.4
大批生产的金属冷加工车间机床电动机	0.14	0.5	0.50	1.73	0.2~0.25
大批生产的金属冷加工车间机床电动机，但为小批和单独生产	0.14	0.4	0.50	1.73	0.16~0.2
通风机、水泵、空压机及电动发电机组	0.65	0.25	0.80	0.75	0.75~0.85
非连锁的连续运输和翻砂车间内造砂用机械等	0.4	0.4	0.75	0.88	0.6~0.7
连锁的连续运输和翻砂车间内造砂用机械等	0.6	0.2	0.75	0.88	0.65~0.7
锅炉房、修理车间、装配车间和机房内的吊车($\epsilon=25\%$)	0.06	0.2	0.5	1.73	0.1~0.15
翻砂铸造车间的吊车($\epsilon=25\%$)	0.09	0.3	0.5	1.73	0.15~0.3
自动连续装料的电阻炉设备	0.7	0.3	0.95	0.33	0.6~0.8
非自动连续装料的电阻炉设备	0.5	0.5	0.95	0.33	0.6~0.7

照明负荷的计算 在进行负荷计算时，工厂照明负荷的计算是由车间厂房的建筑面积决定的。按表7中给出的数据乘以该建筑物的面积，即为该建筑物的照明计算负荷，再并入工厂、车间的计算负荷之内。

表7 单位建筑面积照明用电估算指标

建筑物名称	单位容量 (W/m ²)	建筑物名称	单位容量 (W/m ²)
金工车间	6	各种仓库(平均)	5
装配车间	9	生活间	8
工具修理车间	8	锅炉房	4
金属结构车间	10	机车库	8
焊接车间	8	汽车库	8
锻工车间	7	住宅	4
热处理车间	8	学校	5
铸钢车间	8	办公楼	5
铸铁车间	8	单身宿舍	4
木工车间	11	食堂	4
实验室	10	托儿所	5
煤气站	7	商店	5
压缩空气站	5	浴室	3

注：1. 表内数字按白炽灯计算，若采用荧光灯按同样照度计算时，单位容量可以适当下降。
2. 对高大厂房、大中型车间场所的照明，若采用汞灯、钠灯及高压钠汞节能混光灯时，单位容量的估算指标亦可适当下降。

用户总计算负荷 当车间的低压计算负荷确定后，再分别加上车间变压器的有功损耗和无功损耗，即可得出车间变压器高压侧的计算负荷。如果在车间高压母线上还接有高压电动机，则在求全车间高压负荷时，应将高压电动机的计算负荷一并加入计算结果之内。

在全厂各车间高压母线上的计算负荷确定之后，还应计算配电线路中的有功损耗和无功损耗，以及考虑无功功率补偿方案和它的效果。为了计算各车间用电负荷的不同时性的影响，上述计算结果应乘以全厂最大负荷的同时率 K_{OP} 及 K_{OQ} ，其值见表8。

表8 全厂最大负荷时的同时率

高压线杆上的负荷 (kW)	有功负荷同时率 K_{OP}	无功负荷同时率 K_{OQ}
5000 以下	0.95	0.97
5000~10000	0.85	0.95
10000 以上	0.80	0.93

用上述方法得到全厂总降压变电所低压母线上的计算负荷，再加上主变压器及电网供电线路中的功率损耗即为用户计算负荷。

此外，在新用户建设的前期工作中，常需要对用



户负荷进行粗略估算。用户负荷估算的方法主要有：

(1) 套用现有同类型同规模工厂、车间用电设备容量之和，乘以表 4 的工厂负荷需要系数，估算出用户负荷。

(2) 以计划中的生产规模，套用同类型产业的单位产品(产值)耗电估算出需用电量后，再以同行业的经验年用电最大负荷利用小时估算用电负荷。

参考书目

水利电力部生产司组编，计划用电，北京：水利电力出版社，1983

(王霖宗)

yonghu jidian baohu guanli

用户继电保护管理 (relay protection management of customer)

继电保护装置是电力系统的重要组成部分，当电力系统出现不正常运行时，能及时发出信号或警报，通知运行值班人员进行处理；当电力系统发生事故时，能自动将故障切除，防止事故的扩大，确保电力系统(非故障部分)安全运行。因此，首先要求继电保护装置动作有选择性，即只切除故障的电气元件；其次要求其动作迅速，即切除故障时间尽可能短，以及缩小事故的范围和减轻事故的影响；第三，要求对保护范围内出现的故障有灵敏的反映能力；第四，要求动作可靠，不发生拒动、误动。

由于用户内部发生的事故有可能因用户继电保护装置配合不当或拒动，迫使电网继电保护动作，造成越级跳闸，扩大事故范围，影响对其他用户供电。为预防上述现象的出现，并确保用户继电保护动作的准确可靠，电力部门必须对用户的继电保护进行管理。

电力部门对用户继电保护管理的内容有：

(1) 在新建扩建用户受电工程时，对用户受电装置的继电保护方案进行审核。

(2) 计算确定或审定用户的继电保护整定值，又称定值管理。用户受电装置的进出线、主变压器、母线等的继电保护装置整定值，一般由电力部门计算确定，并将整定值通知用户。用户内部的其他元件的继电保护装置定值可由用户自己计算确定亦可委托电力部门计算确定。用户受电装置发生改变，需要改变继电保护定值时，属于电力部门管辖的继电保护装置，要事先通知电力部门，在继电保护重新计算整定以后，方可以改变受电装置的运行方式。

(3) 在电力系统运行方式改变时，向用户提供继电保护装置整定计算所需的系统参数。

(4) 统一编制用户继电保护定期检修计划和反事故措施，并组织实施。

(5) 参与用户供电工程接电前的继电保护装置的调试检验，又称检验管理。为保证继电保护动作准确可靠，不仅对新投入的继电保护装置要进行检验，而且对已投入运行的继电保护装置也要按周期进行检验。调试检验项目与周期按规程规定的要求进行。用户受电装置的进口继电保护检验，一般由电力部门承担，用户内部继电保护的检验由用户自己承担，也可委托电力部门或有调试力量的单位承担。调试检验要做好记录，调试检验中发现的异常情况要及时排除，并将检验结果写成书面报告送交运行单位备查。电力部门还要参与用户事故扩大、继电保护误动时的临时性检验。

(6) 对用户继电保护专职人员进行技术培训。

(7) 指导用户搞好继电保护日常运行工作。

(余义浦 徐纪法)

yonghu xiebo guanli

用户谐波管理 (harmonic management of customer)

电能质量管理的内容之一。用户谐波管理的目的在于控制用户用电对供电电压波形质量产生的影响，预防电压波形质量出现不合格，而对电力系统引起危害。谐波是由具有非正弦电流特性的电气设备产生的。这类电气设备称为谐波源，主要有：①装有电力电子元件的电气设备，如硅半导体整流器或晶闸管整流器、变频器、逆变器、变流拖动装置(变频、变压调整装置)、电力机车、电视接收机、电力系统的换流设备；②具有非线性电流、电压特性的电气设备，如感应炉、感应加热装置、电弧炉、石墨化电极炉、气体放电灯、电抗器及小型变压器。

谐波电流在供电网的阻抗上产生谐波电压。谐波电压的大小取决于：①各谐波源产生的谐波电流的幅值与相位；②同时工作的谐波源的数量，用户内无功补偿装置的容量；③电网供电点的短路阻抗及电网谐振情况。谐波电压叠加在供电网正弦波形的 50 Hz 电压上，并施加于所有接于该供电网的电气设备，将对这些电气设备的正常工作产生影响。如果谐波电压水平超过电气设备抗干扰能力，会导致下列后果：

(1) 引起局部过热，使电气设备绝缘加速老化，使绝缘薄弱的电容器，发电机和电动机绕组过早损坏。

(2) 干扰电子设备的功能，如对电子计算机、电视广播设备、电子通信设备产生干扰，造成广播通信质量低劣，甚至无法正常工作。

(3) 使继电保护、自动装置发生功能错误，如使继电保护误动、音频或无线电控制系统的接收器功能

you 有

失调。

(4) 影响供电网接地短路时的消弧过程。

对用户谐波管理的内容主要是接电审查、运行监督和谐波防治等。

接电审查 对用户谐波的管理要以预防为主,做好用户接电前的审查是极重要的一关,目的是控制用户将具有非正弦电流特性的设备任意接入电网。接电审查主要是审查用户接入电网使用的电气设备是否具有非正弦电流特性的设备,即谐波源。如为谐波源时,用户要提供这类设备的型号、容量、运行方式、接线方式、控制方式等资料,以便电力部门按照标准判断该设备是否可以直接接入电网,并经过测算确定该设备接入电网的供电方案。接电审查是在用户提出用电申请后确定供电方案前进行。

运行监督 对用户谐波的管理主要体现在运行中的监督。对具有谐波源的新用户,在其受电装置投入运行正式用电后,要在其受电端对用户的谐波电流和谐波电压进行一次现场测量,以验证谐波是否超标。对已运行的大量用户,主要是通过电网中设置的谐波监测点反馈的谐波信息来实施监督。当监测点的谐波超标时,要查明谐波超标的原因和源头。属于用户谐波源引起的,电力部门要协助用户采取措施改善,将谐波控制在允许的范围以内。谐波监测点可视电力系统情况选择在发电厂或变电站母线,也可选在用户受电装置高压侧;可定期进行人工监测,也可装设谐波自动记录仪自动进行监测。谐波具有随机性,谐波的测量时间要选择在谐波最严重的时段进行,一般要选在电网最小运行方式和谐波源产生谐波量最大的时刻。

谐波防治 预防和治理谐波的措施有:

(1) 对于那些可能在电网中引起直流分量的设备,如三相零式整流器,不允许直接接入电网,对这类设备可用变压器与电网隔离;

(2) 对整流设备,可增加整流相数;

(3) 采用滤波措施;

(4) 采用并联电容器吸收措施;

(5) 受电变压器采用 Y, d 或 D, y 接线;

(6) 加强运行管理,改进工艺,保持三相负荷平衡;

(7) 增大电网短路容量;

(8) 调整电网电容器补偿容量,防止因谐振将谐波放大。

(余义浦 徐纪法)

yougui dianche

有轨电车 (tram car) 由架空导线供给直流

电驱动牵引电动机在轨道上行驶的公共电车。它是 19 世纪下半叶在城市马拉(畜挽)轨道车的基础上改进发展起来的一种交通工具。

简史 1879 年柏林工业展览会上展出了世界第一辆以架空导线供电的电动车。1884 年美国人 C. J. 范德波尔(Charles Joseph van Depoele)在多伦多农业展览会上试用电车载客,采用一根有触轮的集电杆及一条架空导线输电,并以钢轨作为回路的供电方式。1888 年美国人 F. J. 斯普拉格(F. J. Sprague)在畜挽轨道车基础上改用电力牵引,并对受流装置、控制系统、电动机的悬挂和驱动方法等进行了改进。1890~1920 年间,在世界范围内有轨电车有了很大发展,成为大中城市广泛采用的主要交通工具。在 20 世纪 30 年代后期,内燃机技术得到不断发展,汽车工业在二次大战后发展迅速,石油产量增长,汽车数量剧增,而有轨电车由于噪声大、机动性差、损坏道路、加重维修等原因,在许多城市逐渐被淘汰。但在这个时期,联邦德国、瑞士、苏联及一些东欧国家仍恢复和发展了有轨电车,并对车辆及运行线路作了改进。进入 70 年代以后,由于能源及环境保护的要求,一些国家又对有轨电车重新重视起来。90 年代一些发达国家发展了一种快速有轨电车,其最高车速为 60~80 km/h,可在大城市繁华或狭窄街道的地下或高架轨道上运行,不受其他车辆干扰。

中国的有轨电车于 1906 年始建于天津,随后在上海、大连、沈阳、哈尔滨、长春、鞍山等城市相继修建,直至 50 年代后期,有轨电车仍然是这些城市的主要交通工具。进入 60 年代,由于中国城市建设的发展、人口的增长、客流的增加,以及有轨电车的噪声大、机动性差、有轨道等原因,而被公共汽车和无轨电车代替。到 1991 年底,中国只有大连、长春和鞍山三个城市还保留部分有轨电车,共有有轨电车 225 辆,营业线路 46km,年客流量达 3.33 亿人·次。其间对有轨电车进行了技术改进,于 1983 年在大连试制了具有三台转向架双节车厢的 DL—621 型铰接式六轴有轨电车。(参见彩图插页第 23 页 70 图)

构成 由走行部分、车厢、电气控制系统、制动设备等组成。

(1) 走行部分:又称转向架。它由牵引电动机、传动装置和两付轮对等合装为一体。在轮架的中部有立轴与车厢串接,因而轮架能相对于车厢自由转动,有利于转向。单车厢的有轨电车两端各装一台两轴转向架。两车厢车列的两端和中间共装三台转向架。三车厢车列的两端和中间共装四台两轴转向架。中间的转向架总是铰接相邻的两车厢。

(2) 车厢:一般采用承载式,借助于弹簧支撑在

转向架上。车厢主要由构架、侧板、车顶和车厢内部设备等组成。

(3) 电气控制系统：主要包括牵引电动机、电阻器、集电装置、避雷器、照明设备及电器控制系统等。早期的电气控制系统采用鼓形控制器直接控制方式，70 年代后期以来，逐渐改由晶闸管斩波器控制。架空接触线常用的电压有 550, 600, 750 V 三种，中国采用 600 V。

(4) 制动设备：包括制动闸瓦、制动传动装置、空气压缩机和空气管路等。一般均有电气制动和机械制动两套装置，相互配合使用。有的车还装有磁轨，用作紧急制动。

(高福崑)

youse jinshu gongye yongdian

有色金属工业用电 (electrical energy utilization of nonferrous metals industry)

有色金属包括除铁、铬、锰以外的所有金属，也包括具有半金属性质的硅、硼、硒、碲、砷等元素，已发现的有色金属共 64 种，工业上广泛应用的有铝、铜、铅、锌、锡、镍、钨、钼、铋等。中国 1990 年有色金属工业用电占全部工业用电的 7.8%。

有色金属工业生产一般包括采矿、选矿、冶炼、金属加工四个阶段。矿石开采有露天开采和地下开采两种，开采工艺与煤炭开采类似（见煤炭工业用电）。由于有色金属矿石品位较低，有的只含千分之几甚至万分之几，因此，单位产成品采矿、选矿耗电较多。有色金属冶炼通常分为火法冶炼、湿法冶炼和电冶炼三种。火法冶炼一般具有处理精矿能力大，能利用硫化矿石中硫的燃烧热，可以经济回收贵金属和稀有金属等优点，因而采用较多，但污染环境较严重。湿法冶炼适用于处理多金属矿、低品位矿和难选矿，由于其经济指标一般不如火法冶炼，故应用较少。电冶炼产品精度高，适用于冶炼铝、镁、钠等活性较大的金属，但耗电较多，且需防治对电网产生的谐波污染。有色金属加工与其他金属加工类似，一般为轧制、挤压、拉伸和锻造等塑性加工方法。有色金属工业多采用采选结合，分散粗炼，集中精炼，消费点加工的布局。在有色金属工业中，产量大耗电多的是铝工业和铜工业。

有色金属工业用电中电解槽、各种电炉用电所占份额较大。其中电解槽属连续运行设备，短时停限电空耗熔剂和电能，长时间停电可能损坏电解槽内衬（见铝工业用电）。在连续生产的电炉中，有芯工频感应炉如突然停电 1 h 以上可能将熔沟冻结，炉衬损坏；电阻炉、中频感应炉和工频感应炉（见感应炉）中

的无芯炉突然停电虽不致造成很大损失，但也降低了热效率和炉衬寿命。

(蒋凤铎 顾嘉乘)

yure fadian

余热发电 (after-heat generate electricity)

回收生产工艺过程中未被利用的热量或新产生的二次能源，用来发电的技术。余热发电是提高能源利用率，降低产品能耗，实现节能的有效途径。工矿企业在生产过程中，一方面需消耗大量的一次能源或二次能源，同时又放散了相当大的一部分能量，如高温产品、烟气、炉渣、冷却水等带走了大量的热量或可燃气体。这不仅浪费了能源，而且污染了环境。随着社会进步和科学技术的发展，从 20 世纪 40 年代开始，一些国家的企业为了降低成本，着手对生产工艺过程中放散的能量进行回收利用的研究。70 年代石油危机后，能源的节约和环境保护问题引起世界各国的重视，使得对生产工艺过程中存在的余能以及可燃性气体的回收利用技术有了很大的发展，其中利用余热发电是一项重要成果。

余热发电的资源 工矿企业在生产工艺过程中未被利用的能量，通常以热能、位能、动能以及可燃性气体的形式放散，由烟气、高温产品、炉渣、冷却水或阻尼装置等带走或消耗。黑色金属、有色金属行业的高温冶炼产品、炉渣、烟气带走大量的高温热量；化工行业的炭黑厂、硫酸厂、甲醛厂的尾气和冷却水带走大量焙烧和化学反应热量；造纸厂、制糖厂、纺织厂锅炉生产的蒸汽经减压后使用引起的能量损失；冶金行业高炉、转炉、焦炉放散的煤气，煤矿抽放的瓦斯，炼油厂放散的炼制气等都是可燃性气体。这些可燃性、蒸汽压差、高炉烟气、炭黑厂和硫酸厂的尾气都可用于发电。

余热发电的方式 余热发电的方式有余能压差发电、回收余热发电和可燃性发电。

(1) 余能压差发电。利用流体压力膨胀做功带动发电机发电称为余能压差发电。造纸、制糖、纺织印染、铝氧、合成氨等生产过程需要低压蒸汽来供热或用作原料，为了提高能源的利用率，一般采用中压锅炉生产蒸汽，再减压变成低压蒸汽供工艺使用。为回收减压造成的能量损失，可以采用抽汽或背压汽轮机发电来回收减压造成的能量损失。石化行业的炼油厂和冶金行业的高炉也产生大量的有一定压力的烟气，为回收这部分压差能量，可采用烟气膨胀透平机组发电，也可直接用于拖动生产机械。

(2) 回收余热发电。工矿企业中的工业窑炉，如硫酸厂的硫铁矿焙烧炉、炭黑厂的制炭炉、轧钢厂的

加热炉等，在使用时要排放大量的高温烟气，放散大量热能。要回收这部分热量，可采用加装余热锅炉，再将余热锅炉产生的蒸汽供汽轮机发电或用作其他的热源。

(3) 可燃气发电。煤矿抽放的瓦斯，冶金行业高炉、铁合金炉、炼焦炉排出的煤气，炼油厂排放的炼制气，电石炉排放的烟气，都含有可燃性气体。将其回收集集中，供燃气轮机组发电，既可节约能源，增加发电量，又可减少对环境的污染，是一举多得综合性节能措施。

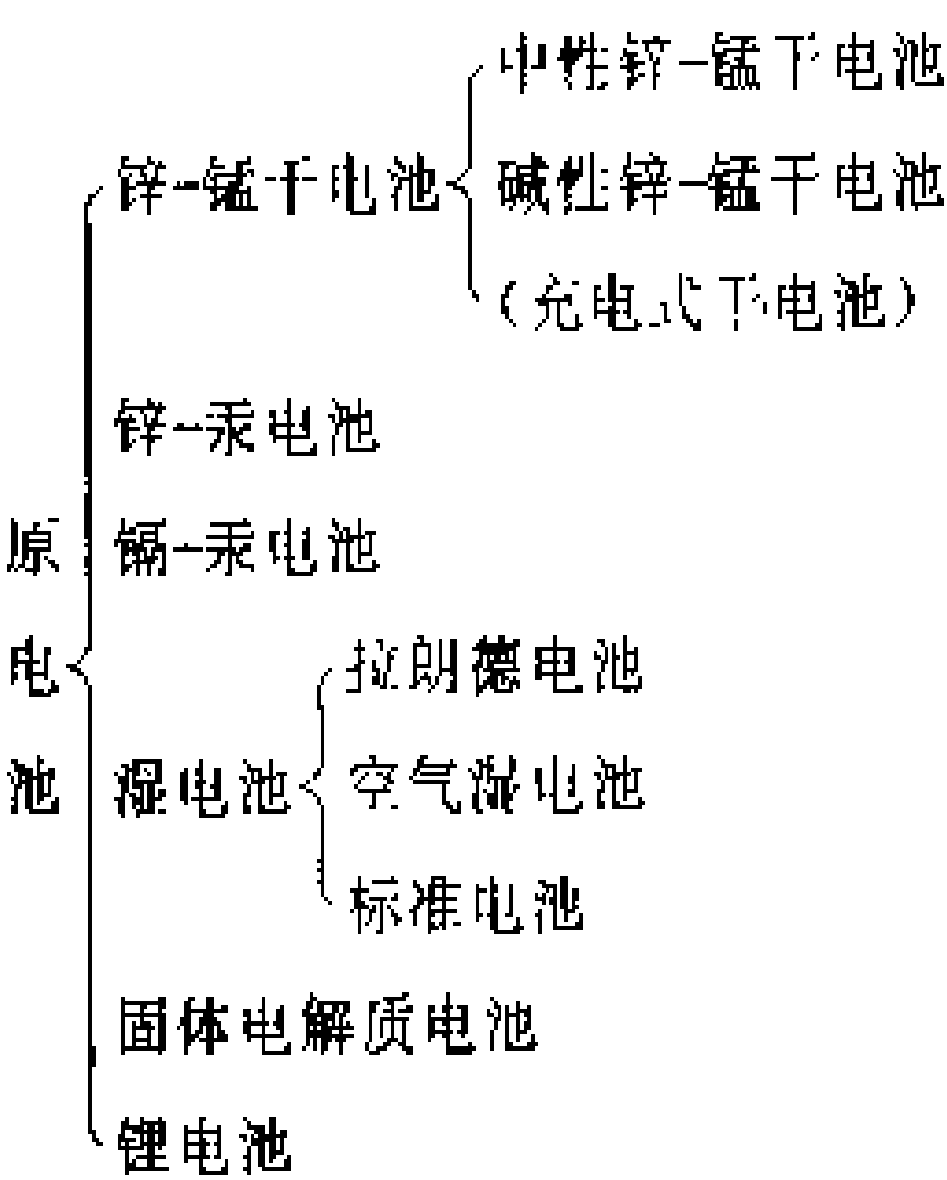
(蒋凤铎 徐纪法)

yuandianchi

原电池 (primary cell) 放电后不宜用充电方法使其再次获得放电能力，即反应是不可逆的化学电源。原电池是经常处于可工作状态、充分放电后只得丢弃的电池，又称为非贮备式电池、一次电池。

原电池是电化学成流体系中的一种，其电化学式可写成：⊖负极活性物质|电解质|正极活性物质⊕，式中“|”代表电极。当接通外电路时，负极活性物质发生氧化反应，释放出电子，经外电路输至正极，正极活性物质接受电子发生还原反应。这两种反应都发生在电极活性物质和电解质接触的界面上。电解质的离子导电作用使电池内两极间能传输电子。原电池一般均由具有活性物质的正、负电极、电解质、隔膜、容器等部分构成。

原电池用途广泛，品种繁多，可分类如下：



锌-锰干电池 又称勒克朗谢电池、碳-锌干电池，俗称干电池。按电解质的不同，可分为中性盐溶液锌-锰干电池和碱性盐溶液锌-锰干电池（又称碱性锌-锰干电池或充电式干电池）两种。两种电池的外形、尺寸、电压等基本上是一样的，但在性能上后者要优越得多，价格上也贵得多。

锌-锰电池系1868年法国G. 勒克朗谢(Georges Leclanché)所发明，当时为湿电池，1886年始由美国

C. 加斯纳(C. Gassner)将其改进为干电池。百年来经不断改进，已成为用途最广，使用方便，价格便宜的干电池。其产量占整个原电池产量的80%以上。

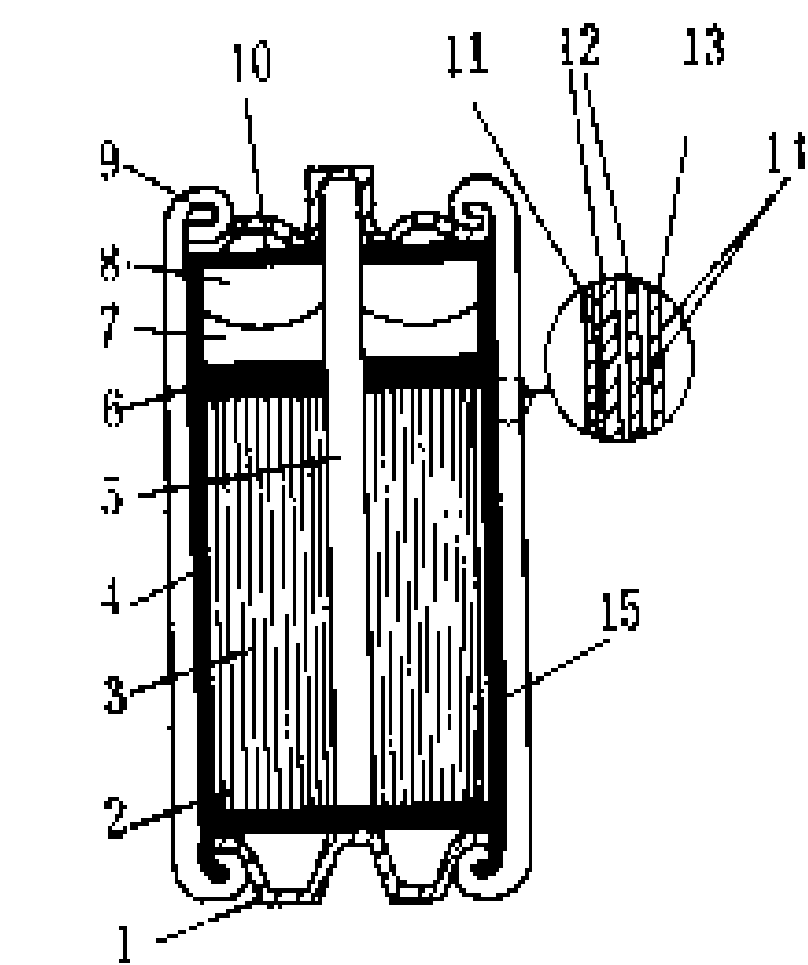


图1 中性锌-锰干电池

结构示意图

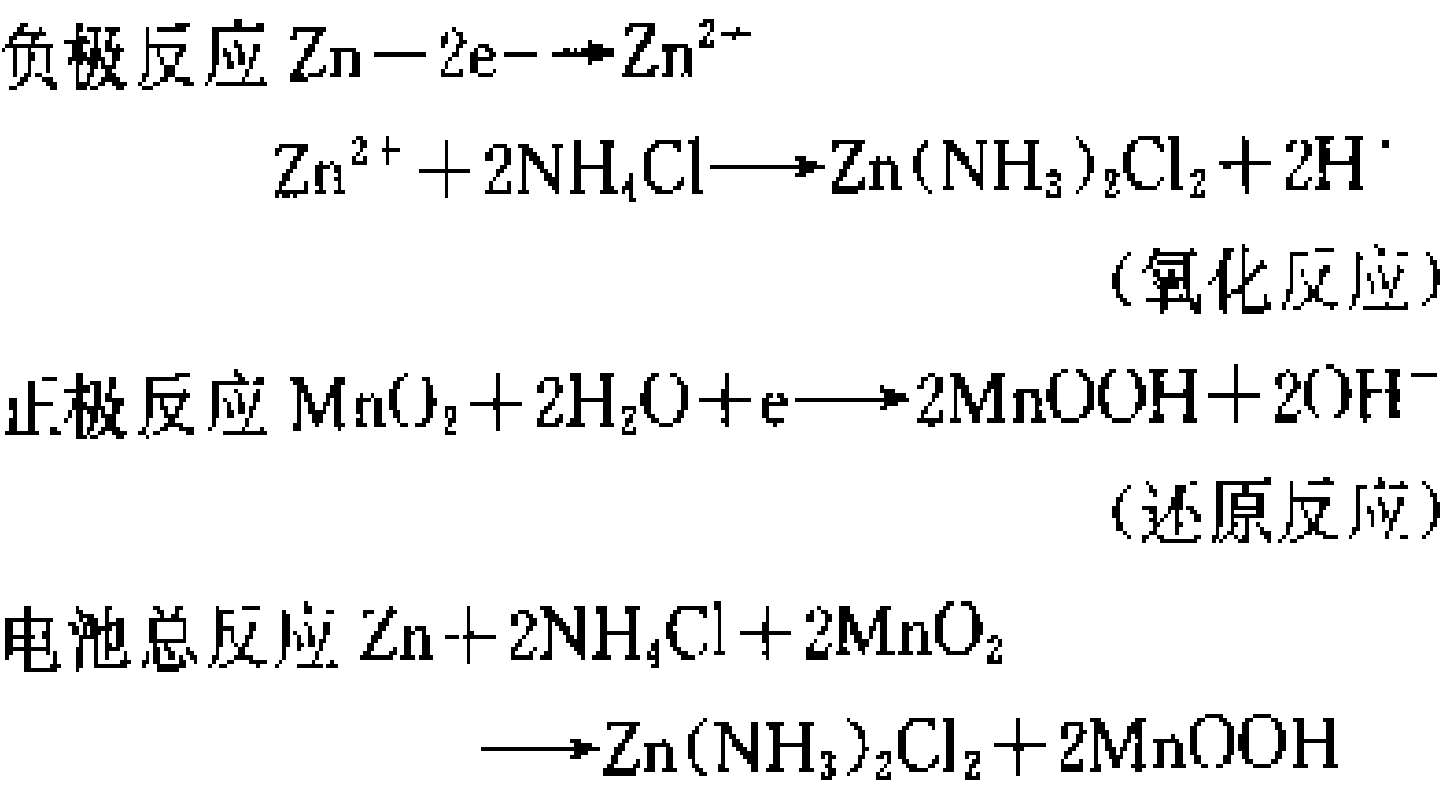
1—马口铁假底；2—杯形底衬垫；3—正极（二氧化锰等的混合物）；4—浆层纸隔离层；5—炭棒；6—密封垫；7—沥青密封层；8—膨胀气室；9—电镀顶盖；10—绝缘垫片；11—吸水牛皮纸衬里；12—聚乙烯；13—商标；14—牛皮纸；15—负极（挤压锌筒）

锌-锰干电池正不断向高容量、大电流连续放电的方向发展。再充电式碱性锌-锰干电池则向提高充放电循环次数的方向发展。

原理及结构 结构不同的干电池，其原理也不相同。

(1) 中性锌-锰干电池：负极活性物质为锌，在圆筒形干电池中，锌负极兼作外壳；正极活性物质为二氧化锰和炭黑的混合物；电解液为氯化铵和氯化锌的水溶液。正、负极之间的隔离层是吸附有电解液的纸、浆糊或凝胶。

电池结构见图1。电池放电时，负极发生氧化反应，正极发生还原反应，其过程相当复杂，基本反应式可表示为



(2) 碱性锌-锰干电池：负极活性物质为锌粉，正极活性物质为纯度较高的二氧化锰和石墨的混合物，电解液为氢氧化钾浓溶液。电池两极的电化学反应仍然是氧化、还原反应，过程复杂。电池的内阻较小，放电电压较高、放电特性曲线较平稳、输出功率较普通锌-锰干电池约大10倍，适用于高负荷放电。其最大特点是有一定的充放电可逆反应性能，能充放电数十周期。

技术性能 电池的额定电压为1.5V，工作电压为1.3~1.4V；最适宜的使用温度为15~35℃，在-20℃以下时，普通干电池不能工作；贮存期为9~18个月。

类型、特点及用途 锌-锰干电池除按电解液分类

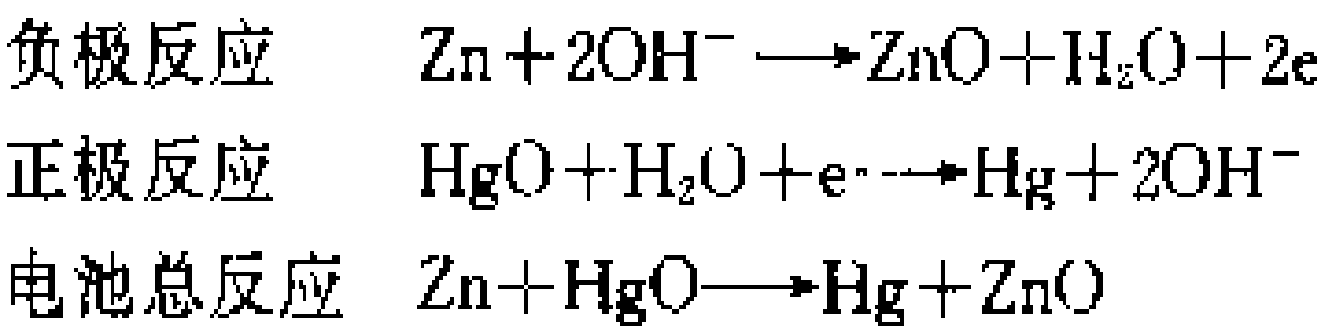
外，又有单体和组合电池之分。其类型、特点和用途见表 1。

表 1 锌-锰干电池的类型、特点和用途

类型	特点	用途
圆筒型锌-锰干电池	仅适用于小电流工作，电压精度低，低温性能差，贮存期 9~18 个月，用途广泛，产量最大，价格便宜	手电筒、晶体管收音机、录音机、小型电台、仪器仪表、小型电动器具、电动玩具等的电源
碱性圆筒型锌-锰干电池（充电式干电池）	适用于大电流连续放电，温度适应性较好，能耐-60℃低温，容量高，放电电压平稳，有一定的再充电性能	闪光灯、照相机、晶体管收音机、仪器仪表、电动玩具、小型电动器具、便携式电视机等的电源
叠层锌-锰干电池	由片形锌-锰干电池叠合串联组装成的组合电池。电压高，适用于小电流连续放电，价格便宜	适用于作为仪器仪表、物探、无线电通信、袖珍电子计算机、信号灯等的电源
组合方型锌-锰干电池	由圆柱型或方型单体锌-锰干电池串联组装成的组合方型电池。电压高，适用于小电流连续放电，价格便宜	适用于作为通信设备、电子仪表、设备点火、电话机等电源

锌-汞电池 又称汞电池。由美国人 S. 鲁宾 (S. Ruben) 为满足电子仪器的需要于 1941 年研制成功。锌-汞电池适用于对电压精度有较高要求的仪器，如助听器、照相曝光表、手表、医疗仪器等的电源。

锌-汞电池的负极活性物质为锌，正极活性物质为氧化汞和石墨的混合物，电解液为含有氧化锌的氢氧化钾饱和水溶液，隔膜为饱含电解液的纤维素材料如假羊皮纸或凝胶层。电池负、正两极的电化学反应为



电池外壳一般作成双层结构，间隙中填充着吸液材料，即使电池中产生的气体被迫排出时，也可使带出的电解液或湿气量减少到最小。通常制成容量小的扣式或圆柱式电池。其结构如图 2 所示。

锌-汞电池的额定电压为 1.35 V；工作电压为 1.2~1.5 V，放电电压平稳，比能量高，放电容量和

放电方式(连续或断续)几乎无关；耐高温，可在 70℃ 时使用；搁置性能优良，贮存寿命可达 3~5 年；缺点是低温性能差，不能在 0℃ 以下使用，价格昂贵。

镉-汞电池 一种碱性原电池，主要用作心脏起搏器、无线电通信、水雷等的电源。

镉-汞电池和锌-汞电

池的主要区别在于它的负极活性物质为镉。镉-汞电池的开路电压为 0.93 V，工作电压平稳，使用温度范围宽，为-49~149℃；自放电很小，贮存寿命可达 20 年；电池内部不产生气体，故可制成全密封的电池。20 世纪 70 年代已有可充电式的镉-

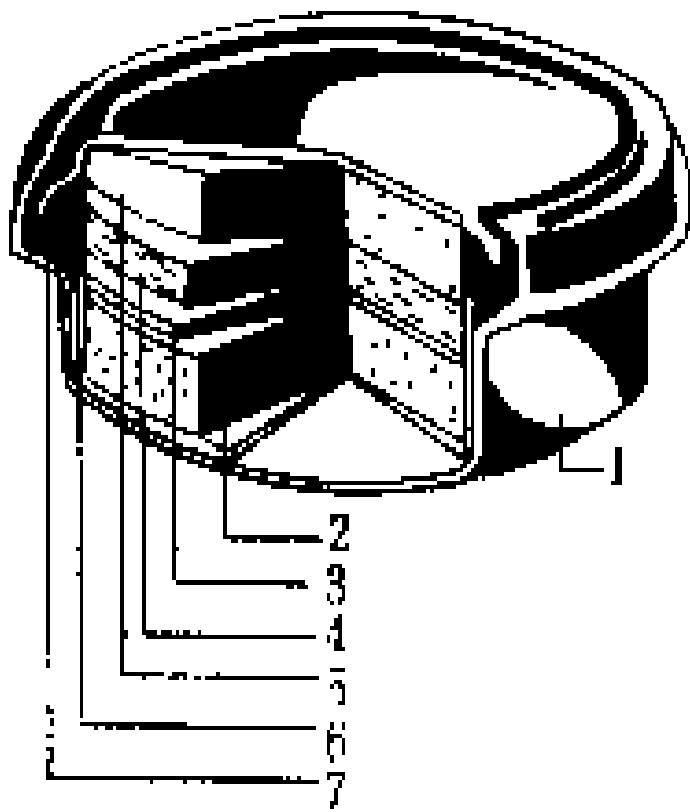
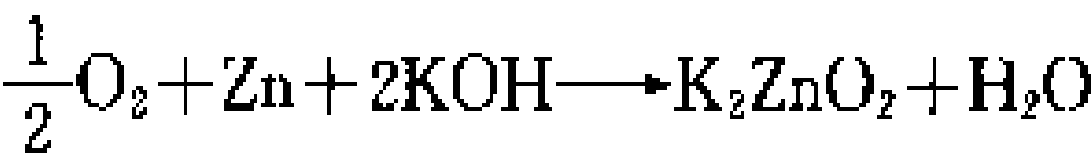


图 2 扣式锌-汞电池结构示意图

汞电池，循环寿命约 350 周期。这种电池的缺点是工作电压较低，成本很高，因而限制了它的使用和发展。

金属-空气电池 既属燃料电池也属蓄电池的一种原电池，按性能可分为一次电池、二次电池和机械再充电式电池。其负极活性物质可以是固态的，也可以是浆状的，正极活性物质为空气中的氧，电解液或是循环流动的，或是静止不动的。金属-空气电池主要有锌-空气、锂-空气、铝-空气、镁-空气、铁-空气电池等几种。较为成熟的仅有一次锌-空气电池和机械再生式可充电锌-空气电池，主要用于电子手表、助听器、航标灯等的电源。锌-空气电池是法国人 Ch. 费里 (Ch. Féry) 于 1917 年研制成功的。

金属-空气电池的负极活性物质为锌、锂、铝、镁、铁等活性金属，正极为燃料电池的气体扩散电极，其活性物质为大气中的氧，电解液为氢氧化钾。如以锌为负极活性物质的锌-空气电池为例，其总反应可表示为



锌-空气电池的额定电压为 1.4 V，工作电压 1.2~1.3 V，工作温度-20~40℃，使用寿命较短。金属-空气电池的比能量高，可用大电流密度放电，是一般干电池无法相比的；电极活性物质价格低廉，因而成本较低。这种电池还存在一些问题，如大气易使电解液碳化而使电池失效，高速率放电时散热困难，二次电池的充电方法尚待改善以及寿命短等问题有待改善。

湿电池 因电池中含有大量自由流动的电解液而得名。湿电池主要有拉朗德电池、空气湿电池、标准

电池等。

拉朗德电池 碱性锌-氧化铜一次电池,因含有大量的游离电解液,故又称湿电池,多用作铁路信号灯、照明等装置的电源。

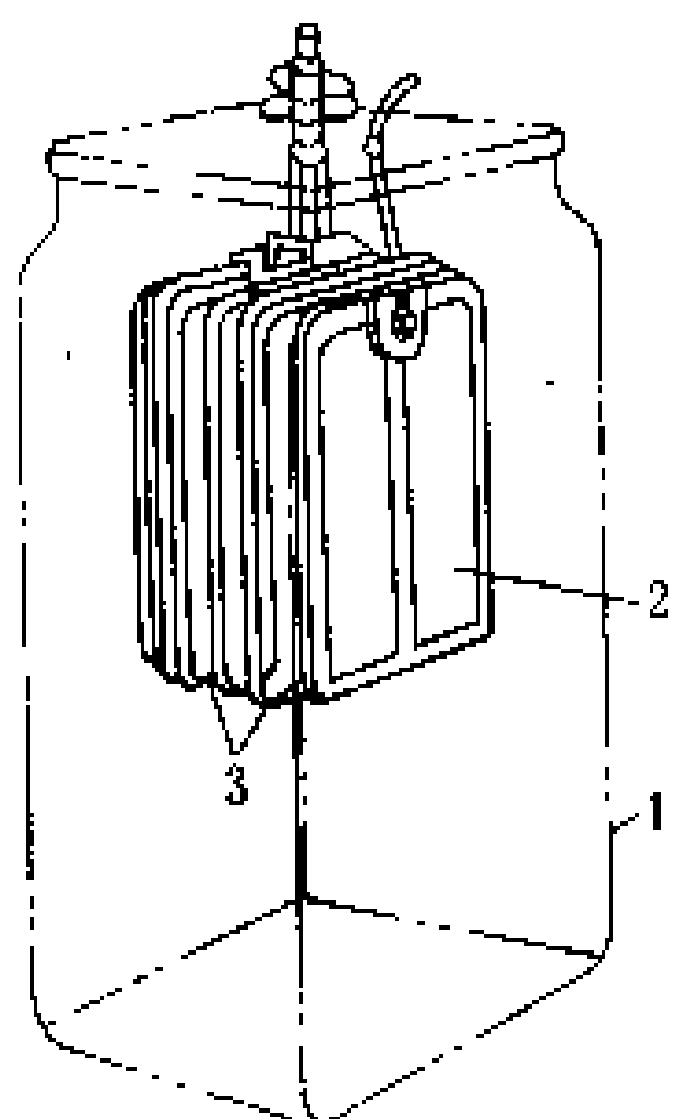


图3 拉朗德电池结构示意图

1—玻璃容器; 2—锌负极;
3—氧化铜正极

电池的负极为汞齐化的高纯度锌,正极为氧化铜粉和苛性钠或硅酸钠粘结剂相混并经模压、烧结(650~950℃)制成,电解液通常用浓氢氧化钠溶液,其结构见图3。电池开路电压在1.1V左右,工作电压较低,为0.6~0.7V,电压平稳,放电性能稳定,放电容量高。

空气湿电池 又称空气电池,主要用作铁路信号装置、公路闪光系统等电源。空气湿电池是H. D. 奈伯格(H. D. Nyberg)于1924年研制成功的价格低廉的电池。

空气电池负极的活性物质为锌,正极为部分防水的微孔碳,其一面暴露在大气中,利用空气中的氧作为正极活性物质,另一面置于容器内。电解液为氢氧化钠(氢氧化钾)水溶液,其结构如图4所示。

图4 空气湿电池结构示意图

电池开路电压为1.46V,平均工作电压为1.13V,终止电压为1.05V。电池的放电电流不能过大,如容量为500A·h的电池,在室温下最适宜的放电电流为2A。

标准电池 又称韦斯顿电池,是电动势准确而又稳定的一种原电池。在工业上或实验室中常以其电动势作为标定电压的标准量,与电压差计配套使用。标准电池是1872年L. 克拉克(L. Clark)发明的。1893年由韦斯顿(Weston)改进成为现在的标准电池。

标准电池的负极为镉汞齐,正极为上面覆盖着硫酸亚汞的纯汞,电解液为硫酸镉溶液,其结构见图5。在任何温度下,硫酸镉电解液都呈饱和状态的称为饱和式标准电池。1908年,在英国伦敦召开的电气单位国际会议上标准电池被推荐为电动势的标准器,在20℃时其电动势为1.01830V(国际),在0~40℃范

围内随温度变化的关系式为

$$E_t = 1.01830 - 40.6 \times 10^{-6} (t - 20)$$

$$- 0.95 \times 10^{-6} (t - 20)^2 + 0.01 \times 10^{-6} (t - 20)^3$$

饱和式标准电池电动势的再现性只有2~3μV的误差。在实验室条件下,电池的使用寿命可达5~10年。

固体电解质电池 以固态离子导体传导电子的原电池,其电解质或是固体离子导体,或是离子交换膜。固体电解质电池是1971年由J. E. 奥克斯利(J. E. Oxley)发明的。固态电解质电导率低于液态电解质溶液,因此,这类电池只能在很小的放电电流(10⁻³~10⁻⁵A)下工作,多用作心脏起搏器等医疗仪器的电源。

以银-R₄NI₂固体电解质电

图5 饱和式标准电池结构示意图 粉、碳粉和电解质的混合物,正极是含碘的有机化合物、碳粉和电解质的混合物。固体电解质为Ag₄RbI₅。电池结构见图6。固体电解质电池分为五种,其主要性能见表2。此外这类电池具有使用温度范围宽(-55~70℃),耐

强烈的自旋震动和冲击,无排气漏液问题,维护简便,易微型化等特点。

锂电池 以锂为负极活性物质的高能电池。锂是最轻的金属元素,电极电位很负,以其作为活性物质组成的电池,比能量远高于其他电池体系。现已生产的有Li-AgCrO₄、Li-MnO₂、Li-SO₂、Li-(CF)_n及Li-SOCl₂等系列的电池,只能用作小电流工作的小型电子器件和无线电收发报机的电源。

图6 固体电解质电池结构示意图 1—负极接线端; 2—绝缘垫; 3—灌封胶; 4—正极; 5—负极; 6—电池连接片; 7—电解质; 8—外壳(正极)

锂电池的负极活性物质为锂,正极材料常用聚氟化碳、过渡元素的卤化物、氧化钠和硫化物等。锂和水接触会发生激烈的反应,因此,电解液必须用非水电解质溶液或有机电解质溶液和一定量的锂盐配成,如γ-J内酯和氟硼酸锂、碳酸丙烯酯和高氯酸锂、亚硫酸氯

和四氟化铝锂的溶液。电池形状有扣式和筒式两种。

以锂-锰电池为例，其额定电压为 3 V，电容量为 156 mA·h 的电池，其重量为 4.1g，低温性能好，贮存期 1 年。锂电池被认为是最有发展前途的新型电池，它既可作成原电池，也有希望作成蓄电池和贮备电池。

表 2 固体电解质电池体系、性能表

电池名称	银-R ₄ NI ₃ 固体电解质电池	银-苝碘 固体电解质电池	锂-碘化铅 固体电解质电池	锂-碘 固体电解质电池	钠-溴 固体电解质电池
体 系	Ag Ag ₄ RbI ₃ R ₄ NI ₃	Ag 4AgI KCN 苝碘	Li LiI, Al ₂ O ₃ , LiOH PbI ₂ , PbS	Li LiI I ₂	Na, Hg βAl ₂ O ₃ Br ₂
开路电压 (V)	0.66	0.64	1.9	2.8	3.77
体积比能量 (W·h/cm ³)	0.037~0.073	0.037~0.073	0.208~0.488	0.260	0.238~0.330
典型的放电电流 (A)	10 ⁻³ ~10 ⁻⁶ (100mA 脉冲)	10 ⁻³ ~10 ⁻⁶ (1A 脉冲)	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁵	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁵	10 ⁻³ ~10 ⁻⁵
室温时电极电导 (Ω·cm) ⁻¹	0.21	0.14	10 ⁻⁵	10 ⁻⁷	10 ⁻² ~10 ⁻³
贮存寿命 (年)	10	10	—	8	—

简史及展望 1800 年 A. 伏打 (Alessandro Volta) 发明的电池是电池发展史上第一个能够实用的电池。19 世纪 30 年代起，在市场上陆续出现了许多商品电池。其中最重要的是 1868 年发明的勒克朗谢电池，即锌-锰干电池，直到现在也仍然是用途最广泛、产量最大、价格最便宜的干电池。第二次世界大战以后，随着军事工业的发展，家用电器的普及，各国竞相研制高性能的电池，发明了不少新型电池，使

得一次电池、二次电池、燃料电池的界限逐渐被打破。现在电池工业研究的方向主要是：①提高电容量；②提高贮存寿命；③减轻重量；④改善温度特性；⑤增加机械强度；⑥降低成本。

参考书目

卢国琦等，化学电源工艺学，哈尔滨：哈尔滨工业大学出版社，1979

(崔淑玉)

Z

zaozhi gongye yongdian

造纸工业用电 (electrical energy utilization of paper industry) 造纸工业是生产各种纸张、纸板及原纸的工业部门。纸的种类繁多,中国有540余种,世界上有近7000种。造纸分为制浆、造纸两个工序。

造纸所用的原料主要是植物纤维,如木材、芦苇、竹子、蔗渣、稻草、麦秸、树皮、棉、麻等。将这些原料经化学处理,除去杂质,剩下的纤维素就是纸浆。将纸浆沉积到造纸机上,经脱水、干燥等,制成平整、均匀的薄页(片状物),即纸。国际标准将定量在 225 g/m^2 以上的称为纸板,以下的称为纸张。中国将定量在 $100\sim 200\text{ g/m}^2$ 以下的叫纸张,定量在 $130\sim 200\text{ g/m}^2$ 以上的叫纸板。

造纸工业的用电可分为生产用电和辅助生产用电两部分,主要用电设备是切料机械,片料输送设备,搅拌机,打浆设备,各类水泵、浆泵、造纸机及其附属设备。从各道工序所用生产设备的装见容量来看,以成浆设备所占比重为最大,其次是造纸、洗涤和筛选工序设备。这四道工序生产设备的装见容量总和约占造纸生产全部生产设备装见容量的 $75\%\sim 90\%$,所消耗的电量也以这四道工序为主。造纸生产如遇临时停电,会使产量减少,如停电时间过长,会造成某些设备损坏,但不会危及人身安全。

生产过程及用电设备 主要有制浆和造纸两个工艺流程。

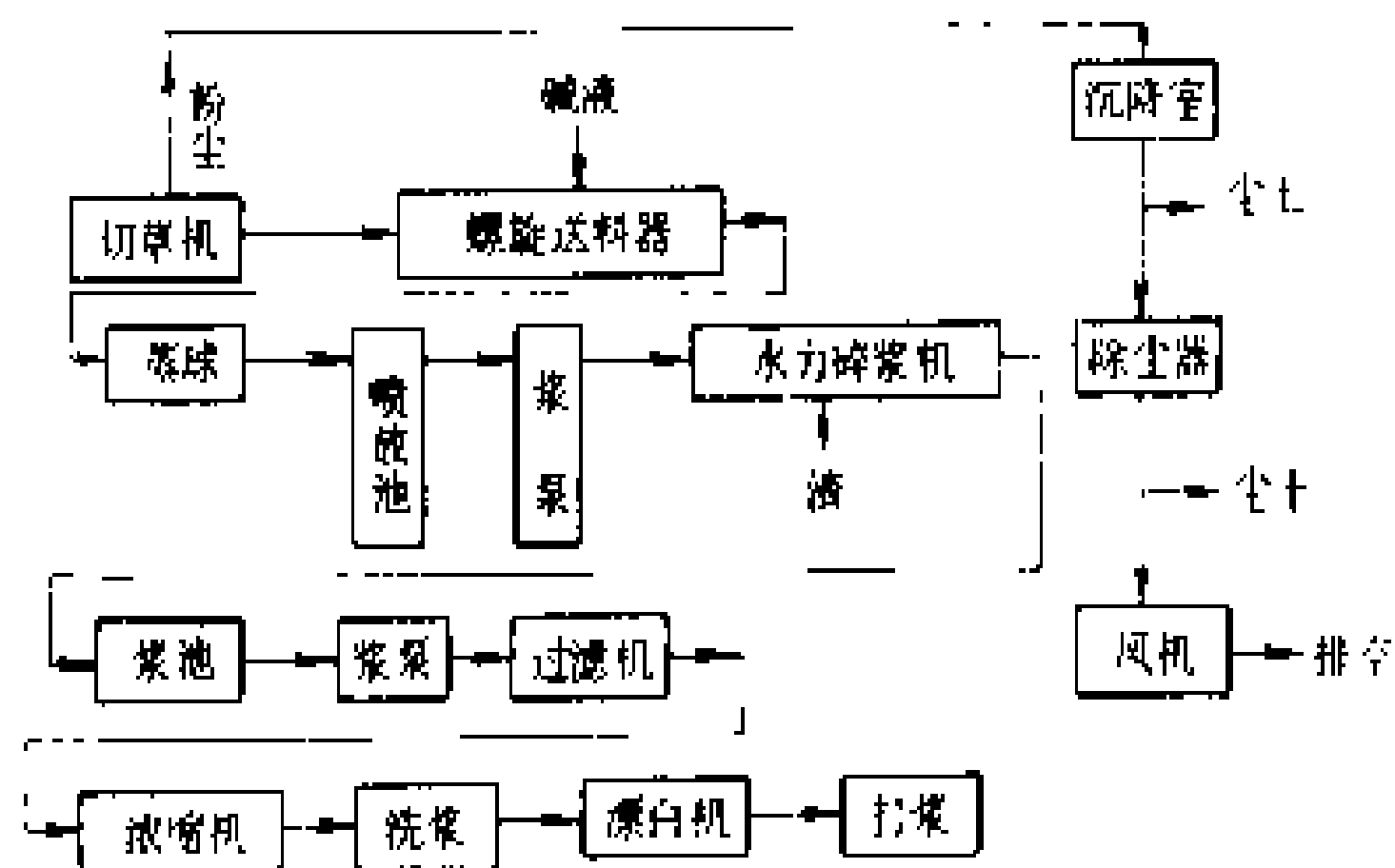


图1 草浆生产工艺流程图

制浆 分为草浆与木浆两类。

(1)草浆生产工艺流程见图1。其主要用电设备是切草机、螺旋送料器、碎浆机、蒸球泵、浆泵、真空泵、打浆机、双盘磨。

(2)木浆生产工艺流程见图2。其主要用电设备是削片机、螺旋送料器、混合泵、喷放锅泵、黑液泵、热水泵、保尔泵、白水泵、真空泵、打浆机等。

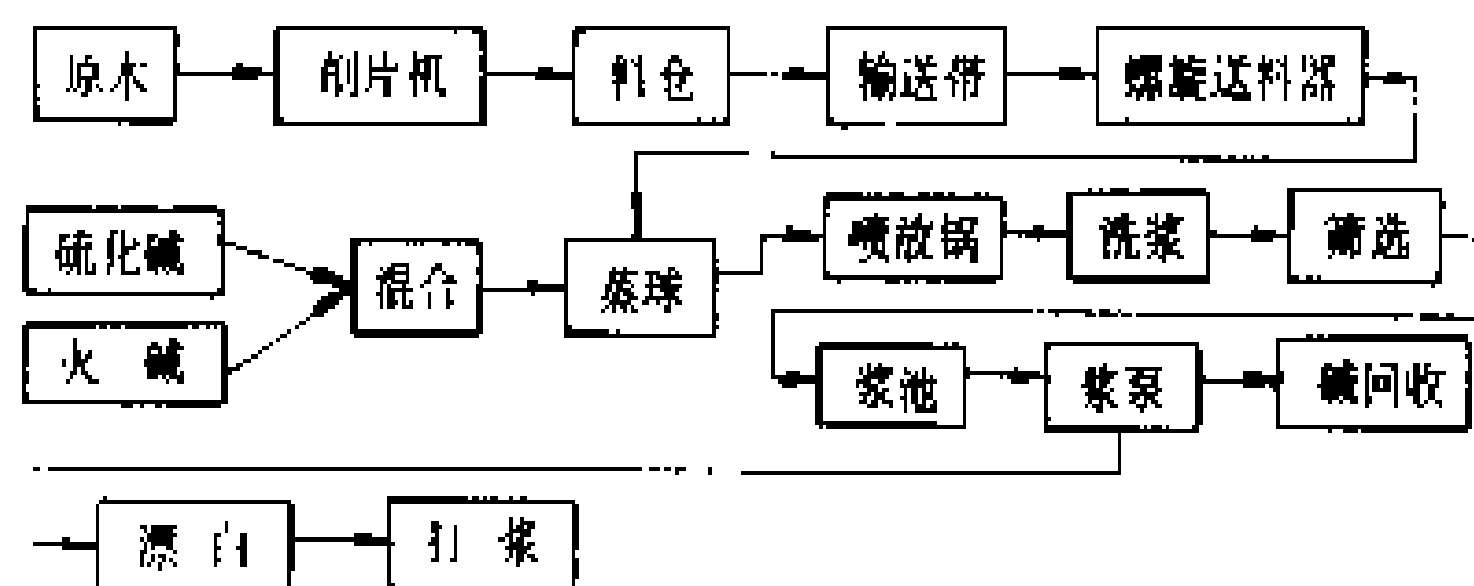


图2 木浆生产工艺流程图

造纸 工艺流程大同小异(见图3),用电设备也

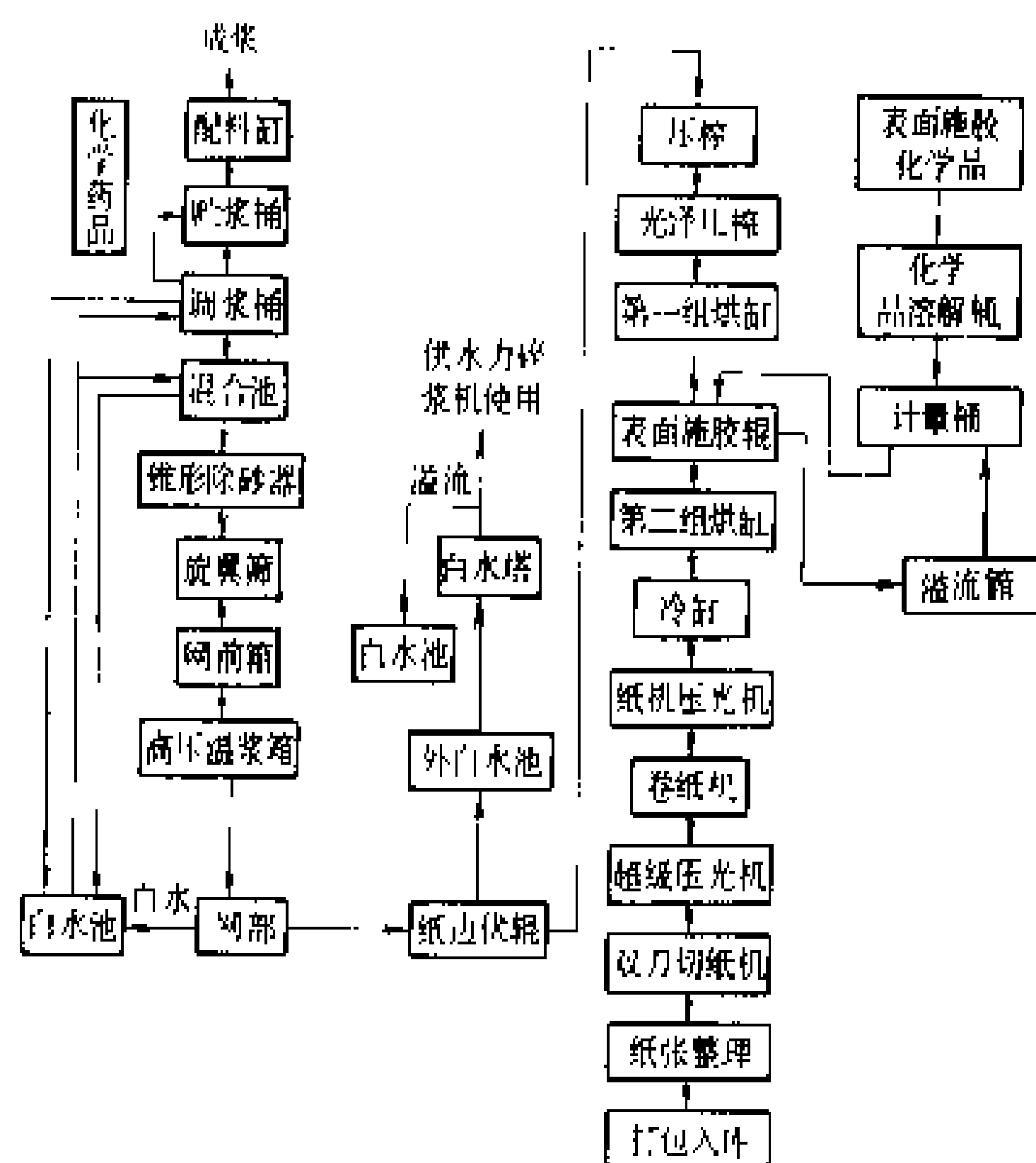


图3 造纸生产工艺流程图

大致相同。其主要用电设备是造纸机、浆泵、除砂器、除砂泵、高压水泵、真空泵。

用电特点 造纸工业一般是三班连续作业,但除造纸工序外,大部分都不是24小时连续运行,有的虽两班制作业,其间也是断续运行。如打浆设备容量大,约占装见容量的65%左右,但打浆

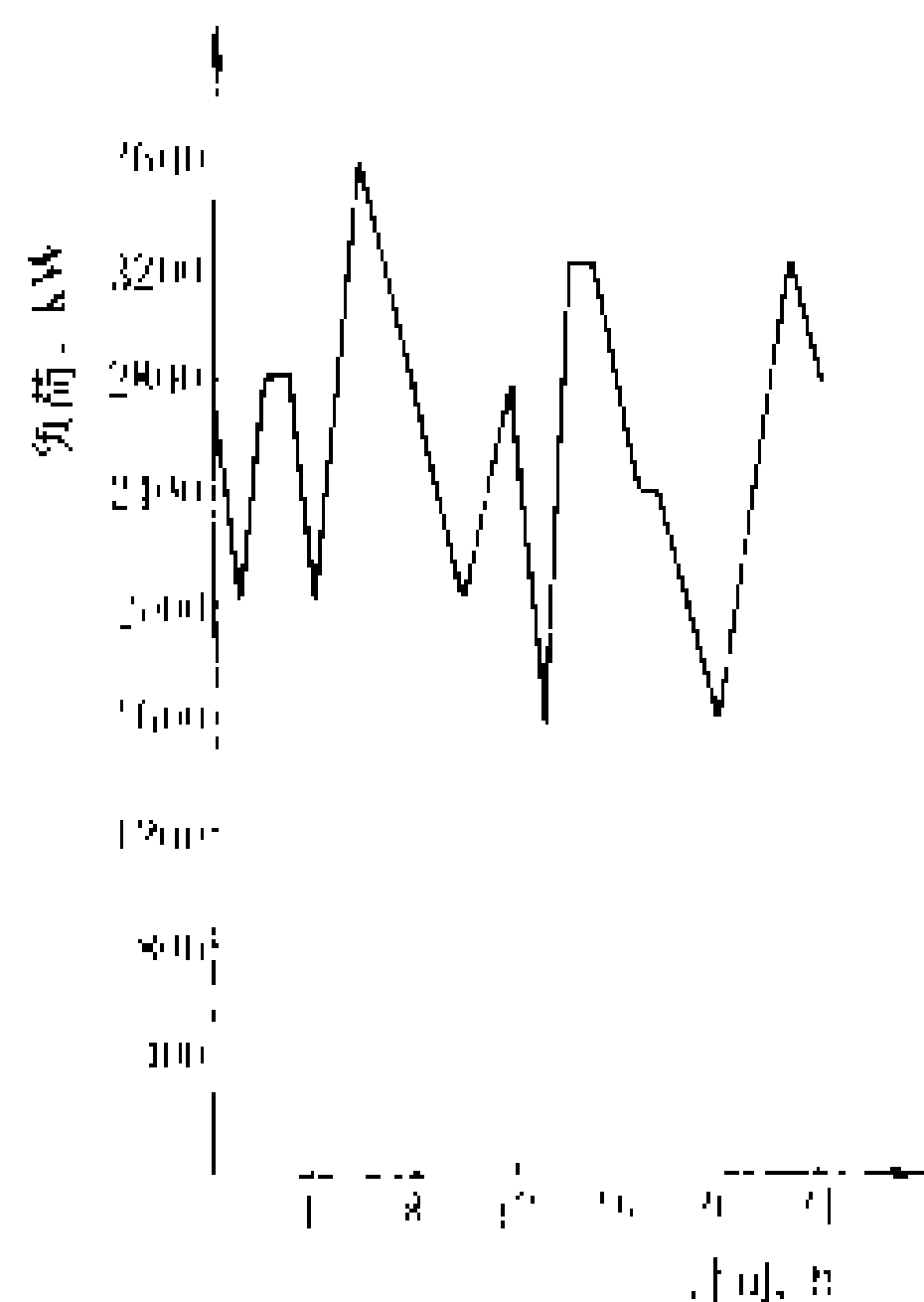


图4 造纸厂日负荷曲线

是断续进行的,打浆时间长短视存浆池大小而定。但总的来说,造纸工业的用电负荷率较高在 90%以上,造纸厂日负荷曲线如图 4 所示。造纸工业的自然功率因数在 0.73 左右,吨纸耗电根据纸的品种不同而异,从 500 kW·h/t 到 1000 kW·h/t,平均 640~660 kW·h/t。

(刘双庆)

zhazhiqi

榨汁器 (juice extractor) 专门用来挤、榨柑桔类水果果汁的厨房器具。挤榨出来的果汁可制备饮料,调兑开胃酒,做糕点和菜肴的配料等。

在用塑料注塑成型的基座里装有微型电动机及减速机构,基座上有一盛榨出果汁的容器,容器上方由基座中心的支撑件及传动杆支承着一个榨汁头,最上面罩以一个保洁罩。

使用时,需先将柑桔切成两半,接通榨汁器电源,电动机以高速转动,经减速机构将高速降至低速,并通过传动杆传给榨汁头,使之低速转动。此时可将半个柑桔有果肉的一面扣向榨汁头,并略加力向下挤压,榨汁头上的凸棱即插入果肉中,随着榨汁头的转动,果汁便被挤榨出来,流到榨汁头下的过滤盘中,果汁滴入容器内,果渣留在过滤盘上。

几乎所有的榨汁器均做成分体式的,即主要的部件(如榨汁头,容器等)均可方便地取下,以便清洗干净。

(叶宗林)

zhanbo kongzhi zhiliu tiaosu

斩波控制直流调速 (speed control of chopper - controlled DC motor) 控制一系列脉冲电压的导通比来调节直流电动机电枢端电压,实现直流电动机调速的技术,又称脉冲控制直流调速。一般采用调节电动机电枢端电压以实现调速。

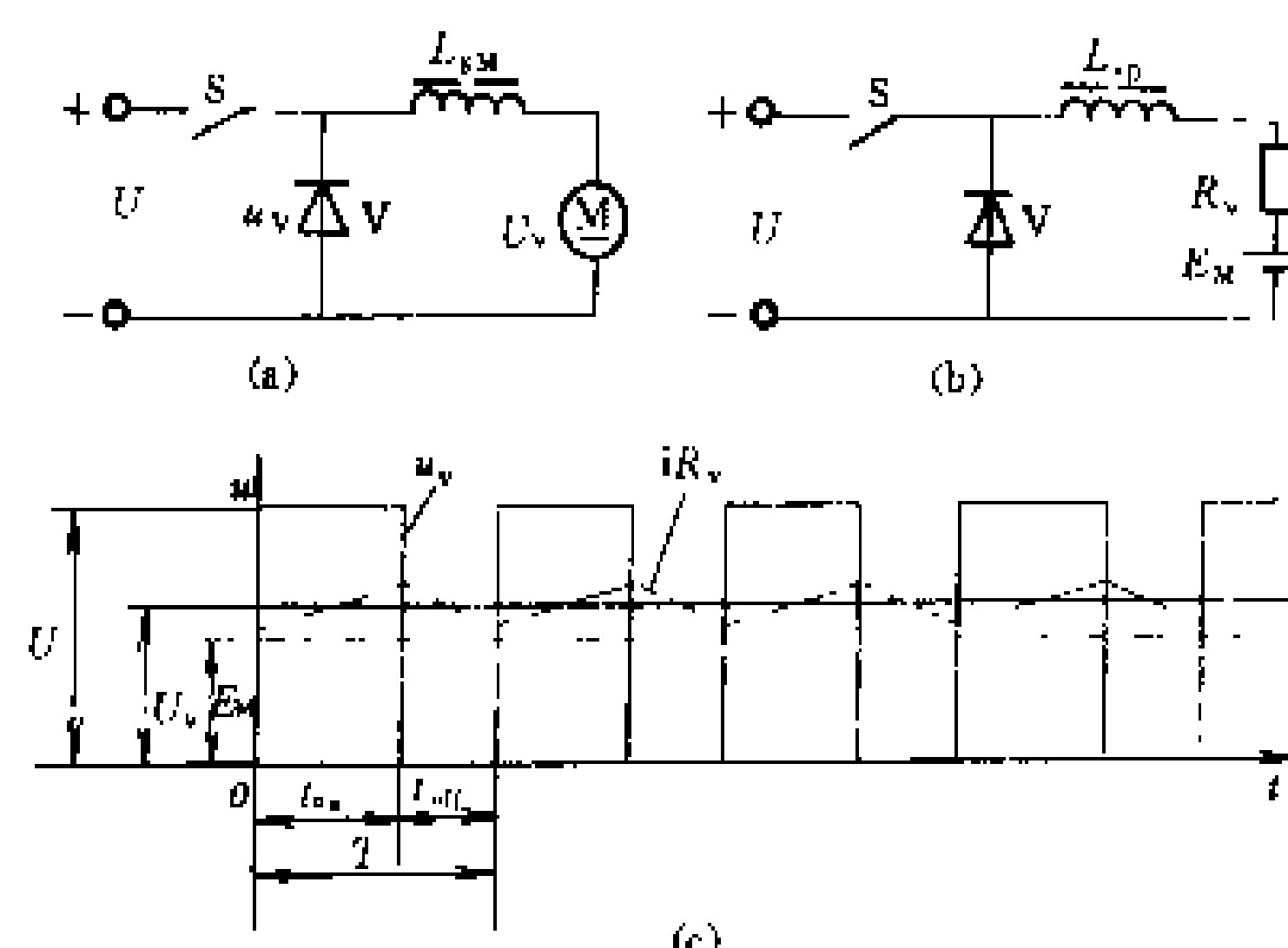
斩波直流调速的原理电路见图(a),其等效电路如图(b)所示。控制一系列脉动电压导通比的装置称斩波器。图中用理想的快速开关 S 代表斩波器,接于直流电源 U 与直流电动机 M 之间,在 S 断开时二极管 V 为电动机的电枢电流提供续流通路。若 S 快速通断,且通断的周期 T (称斩波周期)很短,大大小于电动机 M 的机电时间常数,这样得到的电机端电压将为一列脉冲电压,如图(c)所示。设理想快速开关闭合时间为 t_{on} ,关断时间为 t_{off} ,输出的系列脉冲电压的平均值与闭合时间 t_{on} 及通断周期 T ($T=t_{on}+t_{off}$) 的比(即导通比 α)有关。改变导通比就可改变电机端电压的平均值,从而达到调速的目的。

控制导通比 α 有三种方式:

(1) PWM 脉冲宽度调制 (Pulse Width Modulation): 保持斩波通断周期 T 不变,即斩波频率 $f\left(f=\frac{1}{T}\right)$ 不变,只改变斩波器的导通时间 t_{on} 的脉冲宽度调制。

(2) PFM 脉冲频率调制 (Pulse Frequency Modulation): 保持导通时间 t_{on} 不变(或关断时间 t_{off} 不变),改变斩波通断周期 T,即改变斩波频率 f 的脉冲频率调制。

(3) PTM 脉冲时间调制 (Pulse - Time Modulation): 导通时间 t_{on} 与斩波周期 T (或频率 f) 协同调节的脉冲时间调制。



斩波控制直流调速原理图

(a) 原理电路图; (b) 等效电路图; (c) 负载电压波形图
 L_{SM} —电枢回路的总电感; R_v —电枢回路的总电阻; E_M —电动机的反电动势, 可视为常数; U_v —电枢端电压平均值; L_{SM} —平波电抗器电感

这几种调制方式中, PWM 方式对解决斩波频率与机械固有频率、滤波频率等的谐振,以及对信号、无线电等的干扰问题比较容易。并且这种调速方法具有能使电动机在四象限运行和实现再生制动、节约能源、改善电源环境、调速平滑、调速范围宽、响应快等优点,广泛应用于无轨电车、地下铁道、电动车组、工矿电机车、蓄电池车、潜艇、数控机床等方面。

自 20 世纪 60~70 年代斩波控制直流调速问世以来,该项调速技术用的主要设备斩波器以采用半导体晶体管为主。但强迫关断晶闸管的换流电路很复杂,技术难度大,限制了这项技术的使用。到 70 年代后期至 80 年代,随着自关断功率半导体器件(即可关断晶闸管 GTO, 大功率晶体管 BJT、场效应晶体管 MOSFET、绝缘栅双极晶体管 IGBT 等开关器件)的相继出现和实用化,以及电力电子技术的发展,使得斩波控制直流调速得到更加广泛的应用。由于斩波控制直流调速的开关频率可在数千赫至数百千赫,使系统即使在电枢回路电感很小的情况下,电流也不会断续,

zhang 张

从而可在很低转速时也能平稳运行，所以它与晶闸管相控变流技术比较，具有动态响应更快、调速范围更宽等优点。在某些场合有以斩波控制直流调速取代相位控制直流调速的趋势。

参考书目

徐强编著，PWM 脉宽调速系统，上海：上海科技出版社，1984
 林木生，邵丙衡主编，电力半导体变流技术，北京：中国铁道出版社，1987

(田 军)

zhangli kongzhi

张力控制 (tension control) 对在两个加工设备之间作连续运动或静止的被加工材料所受的张力(拉力)进行自动控制的技术。在各种连续生产线上，各种带材、线材、型材及其再制品，在轧制、拉拔、压花、涂层、印染、清洗以及卷绕等工序中常需要进行张力控制。张力控制可以是恒张力控制，也可以是变张力控制。变张力控制是指张力按某一预先确定的规律变化，或根据工艺需要随时改变，或作为自动控制系统的一个参量参予调节的张力控制技术。张力控制的作用有：①保证连续生产加工过程能正常进行，即保证被加工材料在连续生产线的各部位上秒流量相等，从而达到既不堆料也不拉断的要求；②保证被加工产品的质量，如尺寸精度(厚度、宽度、截面形状等)、平直度、卷绕松紧、外形以及材质性能等达到标准要求。

为了控制张力，需要构成张力控制系统。因为张力只能在两个(或两个以上)具有驱动(或制动)力矩的工艺设备间形成，所以张力控制系统是在两个传动控制系统基础上构成的。其中一个传动控制系统作为张力控制系统的速度基准，称为速度基准系统，而另一个传动控制系统按张力要求建立负载，形成张力，实质是对速度基准系统按要求张力进行速度跟随，称为张力可控的速度跟随系统。张力控制的任务一般多放在后一系统上，所以人们习惯地只将后者称为张力控制系统。

张力控制系统由于应用场合、设备、构成原理不同而多种多样。但按结构形式、控制原理可大致将其归纳为直接张力控制系统、间接张力控制系统、活套张力控制系统三大类。

直接张力控制系统 通过张力检测环节(张力检测传感器)实现对张力的闭环反馈控制的系统。卷取机和轧机机架间的直接张力控制系统分别如图 1 (a)、(b) 所示。

实现直接张力控制，首先要有张力检测传感器(张力计)。它被装在张力测量机构的张力辊下(见图 1)。

张力计实为压力计，现用的压力计有压磁式、感应式、电阻应变片式等多种型式。

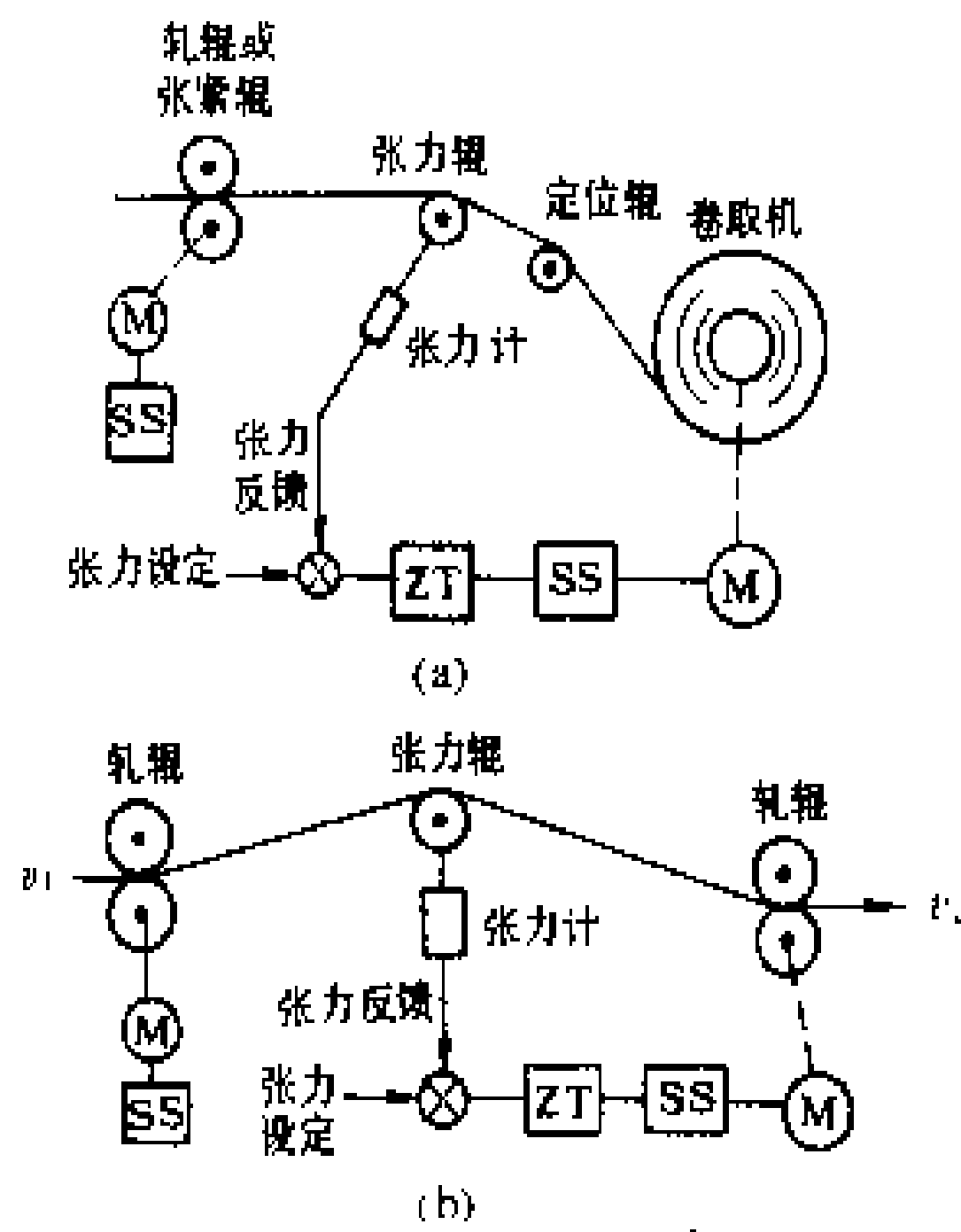


图 1 直接张力控制系统
 (a) 卷取纸的控制系统；(b) 轧机机架间的控制系统

直接张力控制大多用于张力调节范围大，精度要求高及易于安装张力计的场合，或在无法构成间接张力控制系统时使用。

有时为了提高张力调节动态及静态性能，扩大张力调节范围，用间接张力控制实现粗调，起扰动补偿作用，用直接张力控制实现精调，二者合在一起构成张力复合控制。

直接张力控制和张力复合控制多应用于带材、箔材冷轧机或连续加工线的卷取机或其机架间、加工设备间的张力控制上。

间接张力控制系统 通过对形成张力的有关参量的检测与控制和对张力扰动参量的检测和补偿，实现对张力的间接控制所构成的控制系统。

间接张力控制系统不使用张力计，构成方式灵活，种类繁多，多年来，在张力控制领域一直占据着统治地位，得到广泛应用并不断发展。其主要形式有缠绕设备用的间接张力控制和连续加工设备用的间接张力控制两种。

缠绕设备用的间接张力控制系统 缠绕设备(如图 2 卷取机)的特点是：稳态时可近似认为传动功率全部用于建立张力。张力 T 可表达为

$$T = C_1 \frac{M}{D} = C_2 \frac{Mn}{v} = C_3 \frac{P}{v}$$

当用直流电动机传动时，上式可具体表达为

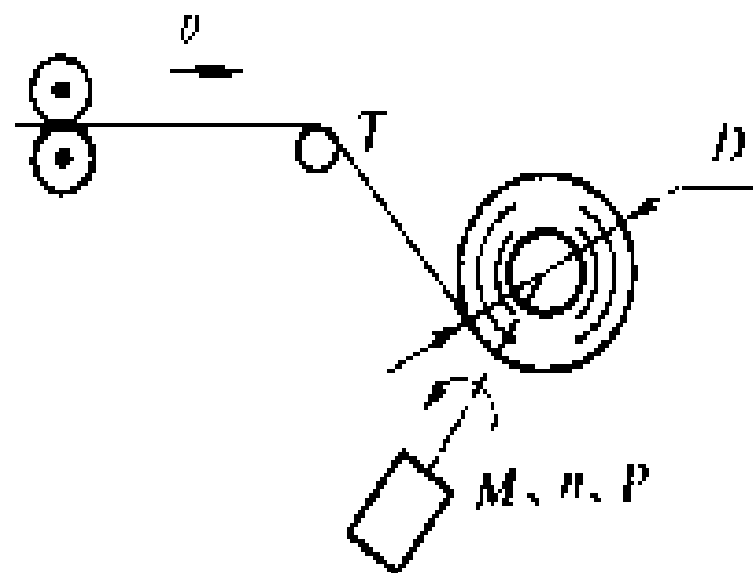
$$T = C_3 \frac{P}{v} = C_4 \frac{EI}{v} = C_5 \frac{I\Phi}{D}$$

式中 $C_1 \sim C_5$ 为常数； P 为传动(张力)功率； T 为卷取张力； M 为卷取力矩； D 为卷筒直径； v 为卷取线速度； n 为卷筒转速； E 、 I 、 Φ 为直流电动机的电动势、



电流、每极磁通。

按上述关系式，通过调节决定张力的不同参量如电流、电动势、功率等，可构成：①功率间接张力控制；②电流间接张力控制；③电流-电动势间接张力控制。



(1)功率间接张力控制系统。通过控制直流电动机功率($P = EI$)，使其与卷取线速度成正比，实现张力的间接控制。此类方案中，电动机励磁电流可为恒值，也可按先升压后励磁即保证充分利用电动机最大力矩方式调节。

(2)电流间接张力控制系统。控制电流 I 使 v/E 或 D/Φ 与其成正比即可构成间接张力控制系统。 v/E 或 D/Φ 可通过检测计算出。如果电动机为恒磁，则系统简化为控制电流 I 与卷筒直径 D 成正比即可。

(3)电流-电动势间接张力控制系统。通过控制磁通 Φ ，使 E 与 v （或 Φ 与 D ）成正比，即使 $\frac{E}{v} = C \frac{\Phi}{D}$ 常数，再控制电流 I ，使其值与张力成正比，便可构成间接张力控制系统。

另外，在一些对张力控制要求不高的缠绕设备上，也常选用一些传动电动机（多为交流电动机）的自然或人工造成的机械软（跟随）特性，使之与设备的张力负载特性相匹配，构成简易的间接张力控制系统。

上述缠绕设备用的间接张力控制系统多用于带材的冷轧机、热轧机和连续加工线的卷取机和开卷机的张力控制。

连续加工设备用的间接张力控制系统 该类设备的特点是传动负载转矩包括两部分：一部分用于加工（如轧机等）材料，另一部分用于建立张力。二者混在一起，同时存在且常难以分开。这类设备中除一部分也可通过装设张力计或活套张力机构检测张力并控制外，还有一部分无法安装张力计或活套，如厚板连轧机、型钢连轧机、管材减径或拉拔机等。这类轧机设备的间接张力（多为小张力或零张力即无张力）控制系统可分为轧制负载转矩记忆间接张力控制系统，轧制负载转矩计算间接张力控制系统。

(1)轧制负载转矩记忆间接张力控制系统。轧材在第一机架轧制，还没进入第二机架形成连轧时，没有张力，故电动机负载全部为轧制负载，将其测出并记忆；待轧材进入第二机架形成连轧，建立张力时，控制第一机架的负载等于记忆之轧制负载不变，即在连轧时控制张力负载为零，达到无张力控制目的。此方案多用在

控制精度要求不高的模拟系统。

(2)轧制负载转矩计算间接张力控制系统。建立计算轧制负载转矩的数字模型，通过相应传感器测量有关参量，利用计算机适时计算出轧制负载，进而控制传动电动机负载。当控制负载值与计算的轧制负载相等时，张力负载为零，即可实现无张力控制；如控制张力负载为某一值时即可构成对应值（多为小张力）的张力控制。

活套张力控制系统 在建立张力的两个设备间装设活套，利用诸如重锤、弹簧、气压缸、液压缸、各种力矩电动机以及电动力矩控制装置等给活套按要求建立张力；再通过对活套位置（或角度）进行反馈控制，实现按要求张力进行速度跟随控制，即可构成活套张力控制系统。

活套种类很多，有活套挑、活套小车、活套坑、活套轮等多种形式。常用的热连轧机活套张力控制系统示于图3。

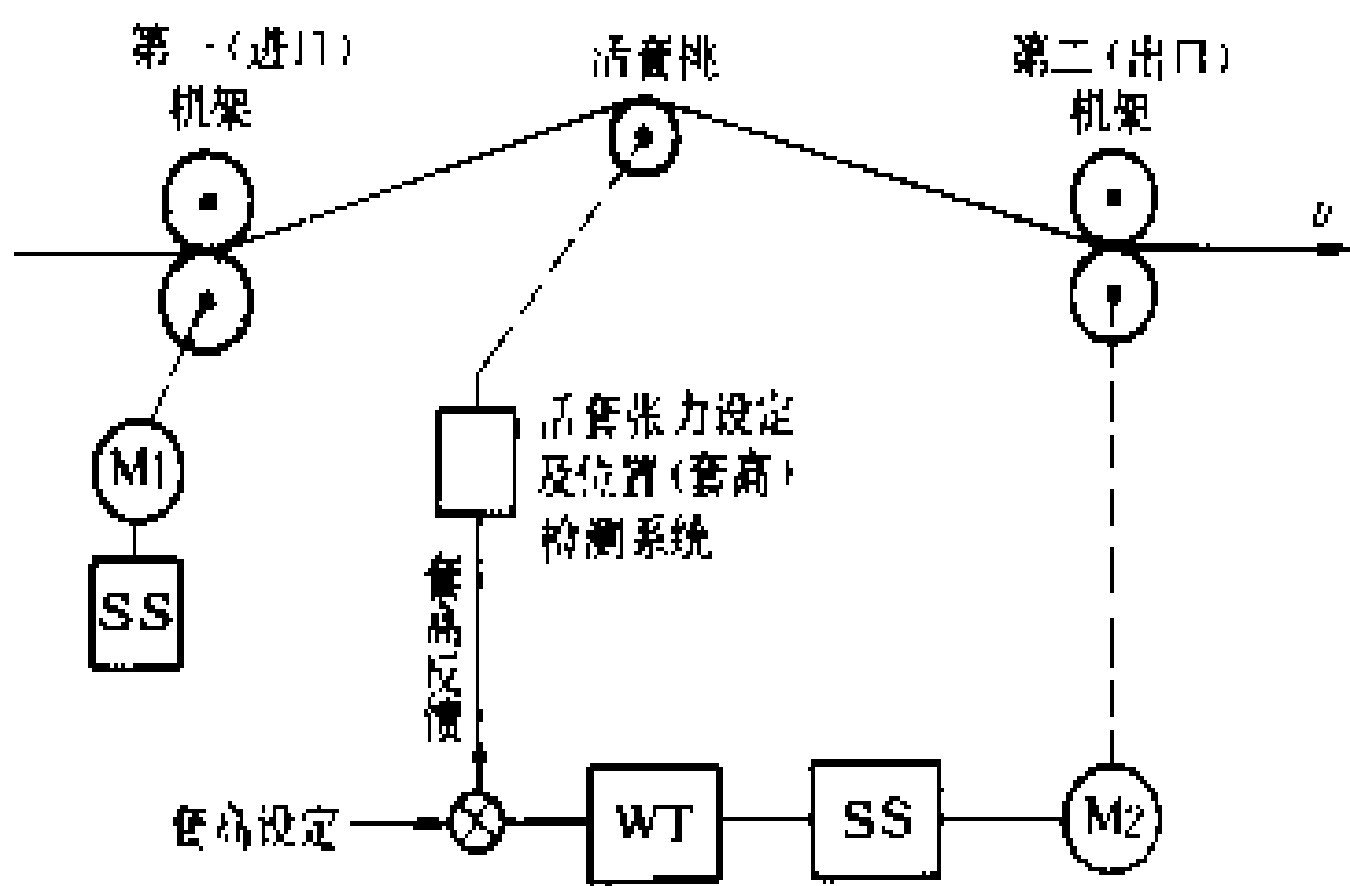


图3 热连轧机活套张力控制系统

（高通文）

zhaodu

照度 (illuminance) 照射到表面某处微面积上的光通量除以该面积所得的商，又称光照度，以符号 E 或 E_v 表示， $E = d\Phi/dA$ 。式中 $d\Phi$ 是微面积上接受的光通量； dA 为微面积。照度的单位是勒克斯，符号为lx。1lm光通量均匀分布在 $1m^2$ 面积上产生的照度为1lx，即 $1lx = 1lm/m^2$ 。照度的英制单位是英尺烛光，符号为fc， $1fc = 10.764lx$ 。一个限定面积上的平均照度常用于定量表示照明水平。例如，长时间阅读时桌面照度约需200~500lx；夏季直射日光下的露天地面照度可达数万勒克斯。

分类 照度又可分为标量照度、平均柱面照度、初始照度、维持照度、使用照度。

标量照度 (scalar illuminance) 亦称平均球面照度。位于给定一点上一个微小的整个球表面上的平均照度，球直径趋近于无穷小。它表示给定点的受照量，而与入射光的方向无关，并且也不指明被照面的方向，



因此称为标量照度，符号为 E_v 。

平均柱面照度 (mean cylindrical illuminance) 在给定的点上，一个很小的圆柱体曲面上的平均照度，圆柱体两个端面上接受的光不计，符号为 E_c 。除非特殊说明，圆柱体的轴线一般是与地平面相垂直。平均柱面照度代表空间一点的平均垂直照度，适于在公众活动场所如商店营业厅、多功能会议厅、体育馆比赛厅等作为评价照明效果和照明水平的指标。

初始照度 (initial illuminance) 在照明装置是新的，而且房间表面清洁时，受照平面上的平均照度。应当按照选定的照明维护方案提出的要求选择初始照度。不得以初始照度作为推荐照度标准值使用。初始照度应高于照度标准值。

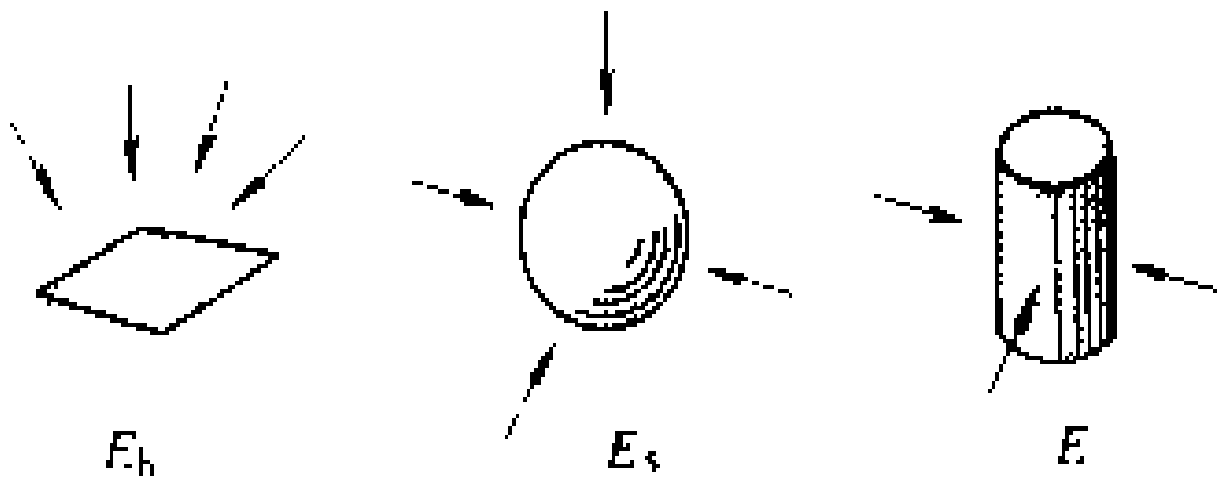
维持照度 (maintenance illuminance) 在必须换灯或清洗灯具和房间表面，或者同时进行上述维护工作时所得到的受照面的平均照度。有些国家，如中国、美国、苏联采用维持照度作为推荐照度标准。任何照明装置所产生的平均照度，在使用过程中由于灯的流明衰减和灯、灯具及房间内表面上积灰污染，照度值都将逐渐降低，也就是说，维持照度一定低于初始照度，两者相差的多少取决于照明维护制度和维护周期。

使用照度 (service illuminance) 整个维护周期内，受照平面上平均照度的中值。有些国家，如英国、联邦德国等采用使用照度规定照度标准。

术语 描述平面照度和空间照度的术语有照度均匀度和照明矢量。图中给出平面照度与空间照度示意图。

照度均匀度 (uniformity illuminance) 描述给定

平面上照度变化幅度的指标。有两种表示方法：① 最小照度与平均照度之比；② 最小照度与最大照度之比。室内照明通常采用前者。在工作环境中，要求工作面上的照度均匀度不小于 0.7。



平均照度与空间照度

E_h —平面照度； E_v —平均球面照度； E_c —平均柱面照度

照明矢量 (illumination vector) 用于描述空间一点上的光的方向特性的术语，以符号 \vec{E} 表示。其量值为一个平面正反两侧的照度差的最大值，单位为 lx。这个平面的朝向是使这一照度差为最大值的方向，由较高照度向较低照度的矢量方向为正。空间各点的照明矢量表示该空间光流的方向。照明矢量与标量照度之比简称矢量/标量比，用于表征三维物体的造型立体感。当 $\vec{E}/E_v = 1.2 \sim 1.8$ 时，效果比较满意。

(詹庆旋)

zhao du biao zhun

照度标准 (illuminance standard) 对各类照明场所应达到的照度要求值。照度标准是照明标准中一项重要技术指标。长期以来，广大照明工作者对照度标准值的确定方法和原理进行了大量的实验研究，为制订照度提供了科学依据。

表 1 工作场所作业面上的照度标准值

视觉作业特性	识别对象的最小尺寸 d (mm)	视觉作业 分 等 级		亮度 对比	照 度 标 准 值 (lx)					
					混 合 照 明			一 般 照 明		
					低	中	高	低	中	高
特别精细作业	$d \leq 0.15$	I	甲	小	1500	2000	3000	—	—	—
			乙	大	1000	1500	2000	—	—	—
很 精 细 作 业	$0.15 < d \leq 0.3$	II	甲	小	750	1000	1500	200	300	500
			乙	大	500	750	1000	150	200	300
精 细 作 业	$0.3 < d \leq 0.6$	III	甲	小	500	750	1000	150	200	300
			乙	大	300	500	750	100	150	200
一般精细作业	$0.6 < d \leq 1.0$	IV	甲	小	300	500	750	100	150	200
			乙	大	200	300	500	75	100	150
一 般 作 业	$1.0 < d \leq 2.0$	V	—	—	150	200	300	50	75	100
较粗糙作业	$2.0 < d \leq 5.0$	VI	—	—	—	—	—	30	50	75
粗 糙 作 业	$d > 5.0$	VII	—	—	—	—	—	20	30	50
一般观察生产过程	—	VIII	—	—	—	—	—	10	15	20
大 件 贮 存	—	IX	—	—	—	—	—	5	10	15
有自行发光材料的车间	—	X	—	—	—	—	—	30	50	75

注：表中一般照明系指照明场所的照明器在被照区空间均匀布置的照明方式。由一般照明和局部照明共同构成混合照明。

表 2 一般生产车间和作业场所工作面上的照度标准值

车 间 和 作 业 场 所		视觉 作业 等级	照 度 标 准 值 (lx)								
			混合照明			混合照明中的一般照明			一般照明		
			低	中	高	低	中	高	低	中	高
金属 机械 加工 车间	粗加工	Ⅲ乙	300	500	750	30	50	75	—	—	—
	精加工	Ⅰ乙	500	750	1000	50	75	100	—	—	—
	精 密	Ⅰ乙	1000	1500	2000	100	150	200	—	—	—
机电 装配 车间	大件装配	V	—	—	—	—	—	—	50	75	100
	小件装配、试车台	Ⅲ乙	500	750	1000	75	100	150	—	—	—
	精密装配	Ⅰ乙	1000	1500	2000	100	150	200	—	—	—
焊 接 车 间	手动焊接、切割、接触焊、电渣焊	V	—	—	—	—	—	—	50	75	100
	自动焊接、一般划线	Ⅳ乙	—	—	—	—	—	—	75	100	150
	精密划线	Ⅲ甲	750	1000	1500	75	100	150	—	—	—
	备料（如有冲压、剪切设备则参照冲压剪切车间）	Ⅵ	—	—	—	—	—	—	30	50	75
钣金车间		V	—	—	—	—	—	—	50	75	100
冲压剪切车间		Ⅳ乙	200	300	500	30	50	75	—	—	—
锻工车间		X	—	—	—	—	—	—	30	50	75
热处理车间		Ⅵ	—	—	—	—	—	—	30	50	75
铸 工 车 间	熔化、浇铸	X	—	—	—	—	—	—	30	50	75
	型砂处理、清理、落砂	Ⅵ	—	—	—	—	—	—	20	30	50
	手工造型	Ⅲ乙	300	500	750	30	50	75	—	—	—
	机器造型	Ⅵ	—	—	—	—	—	—	30	50	75
木 工 车 间	机床区	Ⅲ乙	300	500	750	30	50	75	—	—	—
	锯木区	V	—	—	—	—	—	—	50	75	100
	木模区	Ⅳ甲	300	500	750	50	75	100	—	—	—
表 面 处 理 车 间	电镀槽间、喷漆间	V	—	—	—	—	—	—	50	75	100
	酸洗间、发兰间、喷砂间	Ⅵ	—	—	—	—	—	—	30	50	75
	抛光间	Ⅲ甲	500	750	1000	50	75	100	150	200	300
	电泳涂漆间	V	—	—	—	—	—	—	50	75	100
电 修 车 间	一般	Ⅳ甲	300	500	750	30	50	75	—	—	—
	精密	Ⅲ甲	500	750	1000	50	75	100	—	—	—
	拆卸、清洗场地	Ⅵ	—	—	—	—	—	—	30	50	75
实 验 室	理化室	Ⅲ乙	—	—	—	—	—	—	100	150	200
	计量室	Ⅰ乙	—	—	—	—	—	—	150	200	300
动 力 站 房	压缩机房	Ⅵ	—	—	—	—	—	—	30	50	75
	泵房、风机房、乙炔发生站	Ⅶ	—	—	—	—	—	—	20	30	50
	锅炉房、煤气站的操作层	Ⅶ	—	—	—	—	—	—	20	30	50
配、 变 电 所	变压器室、高压电容器室	Ⅶ	—	—	—	—	—	—	20	30	50
	高低压配电室、低压电容器室	Ⅵ	—	—	—	—	—	—	30	50	75
	值班室	Ⅳ乙	—	—	—	—	—	—	75	100	150
	电缆间（夹层）	Ⅶ	—	—	—	—	—	—	10	15	20



续表

车间和作业场所		视觉 作业 等级	照 度 标 准 值 (lx)								
			混合照明			混合照明中的一般照明			一般照明		
			低	中	高	低	中	高	低	中	高
电 源 室	电动发电机室、整流间、柴油发电机室	Ⅵ	—	—	—	—	—	—	30	50	75
	蓄电池室	Ⅶ	—	—	—	—	—	—	20	30	50
控 制 室	一般控制室	Ⅳ乙	—	—	—	—	—	—	75	100	150
	主控制室	Ⅰ乙	—	—	—	—	—	—	150	200	300
	热工仪表控制室	Ⅱ乙	—	—	—	—	—	—	100	150	200
电 话 站	人工交换台、转接台	Ⅴ	—	—	—	—	—	—	50	75	100
	自动电话交换机室	Ⅵ	—	—	—	—	—	—	100	150	200
	广播室	Ⅳ乙	—	—	—	—	—	—	75	100	150
仓 库	大件贮存	Ⅸ	—	—	—	—	—	—	5	10	15
	中小件贮存	Ⅶ	—	—	—	—	—	—	10	15	20
	精细件贮存、工具库		—	—	—	—	—	—	30	50	75
	乙炔瓶库、氧气瓶库、电石库		—	—	—	—	—	—	10	15	20
汽 车 库	停车间		—	—	—	—	—	—	10	15	20
	充电室		—	—	—	—	—	—	20	30	50
	检修间		—	—	—	—	—	—	30	50	75

表 3 厂区露天作业场所和交通运输线的照度标准值

类 别		规 定 照 度 的平面	照度标准值 (lx)		
			低	中	高
露 天 作 业	视觉要求较高的工作	作业面	30	50	75
	用眼睛检查质量的金属焊接	作业面	15	20	30
	用仪器检查质量的金属焊接	作业面	10	15	20
	间断的检查仪表	作业面	10	15	20
	装卸工作	地 面	5	10	15
	露天堆场	地 面	0.5	1	2
道 路 和 广 场	主干道	地 面	2	3	5
	次干道	地 面	1	2	3
	厂前区	地 面	3	5	10
站 台	视觉要求较高的站台	地 面	3	5	10
	一般站台	地 面	1	2	3
装 卸 码 头		地 面	5	10	15

表 4 工业企业辅助建筑照度标准值

类 别		规定照度 的作业面 (m)	照度标准值 (lx)					
			混合照明			一般照明		
			低	中	高	低	中	高
办 公 室、资 料 室、会议 室、报 告 厅		距地 0.75	—	—	—	75	100	150
工 艺 室、设 计 室、绘图 室		距地 0.75	300	500	750	100	150	200
打 字 室		距地 0.75	500	750	1000	150	200	300
阅 览 室、陈 列 室		距地 0.75	—	—	—	100	150	200
医 务 室		距地 0.75	—	—	—	75	100	150
食 堂、车 间 休 息 室、单 身 宿 舍		距地 0.75	—	—	—	50	75	100
浴 室、更 衣 室、 厕 所、楼 梯 间		地 面	—	—	—	10	15	20
盥 洗 室		地 面	—	—	—	20	30	50
托 儿 所、幼 儿 园	卧 室	距 地 0.4~0.5	—	—	—	20	30	50
	活 动 室	距 地 0.4~0.5	—	—	—	75	100	150

制订照度标准的方法各个国家不尽相同,但其主要方法有三种:根据主观的判断来选定照度的称为主观法;根据视觉功能的变化来选定照度的称为间接法;根据劳动生产率及单位产品成本选定照度的称为直接法。中国是采用间接法制定照度标准的,即从保证一定



表 5 民用建筑照明的照度标准值

建筑类别	照 明 场 所		参考平面及其高度	照度标准值 (lx)		
				低	中	高
住宅建筑	起居 室、卧 室	一般活动区	0.75 m 水平面	20	30	50
		书写、阅读	0.75 m 水平面	150	200	300
	起居 室、卧 室	床头阅读	0.75 m 水平面	75	100	150
		精细作业	0.75 m 水平面	200	300	500
	餐厅或方厅、厨房		0.75 m 水平面	20	30	50
	卫生间		0.75 m 水平面	10	15	20
	楼梯间		地 面	5	10	15
办公楼建筑	办公室、报告厅、 会议室、接待室、陈 列室、营业厅		0.75 m 水平面	100	150	200
	有视觉显示屏的 作业		工作台水平面	150	200	300
	设计室、绘图室、 打字室		实际工作面	200	300	500
	装订、复印、晒图、 档案室		0.75 m 水平面	75	100	150
	值班室		0.75 m 水平面	50	75	100
	门厅		地 面	30	50	75
商业建筑	一般 商店营 业厅	一般区域	0.75 m 水平面	75	100	150
		柜台	柜台面上	100	150	200
		货架	1.5 m 垂直面	100	150	200
		陈列柜、 橱窗	货物所处平面	200	300	500
	室内菜市场营业 厅		0.75 m 水平面	50	75	100
	自选商场营业厅		0.75 m 水平面	150	200	300
	试衣室		试衣位置 1.5 m 高处垂直面	150	200	300
	收款处		收款台面	150	200	300
	库房		0.75 m 水平面	30	50	75
图书馆建筑	一般阅览室、少年 儿童阅览室、研究 室、装裱修整间、美 工室		0.75 m 水平面	150	200	300
	老年读者阅览室、 善本书和舆图阅览 室		0.75 m 水平面	200	300	500

续表

建筑类别	照 明 场 所		参考平面及其高度	照度标准值 (lx)		
				低	中	高
图书馆建筑	陈列室、目录厅 (室)、出纳厅(室)、 视听室、缩微阅览室		0.75 m 水平面	75	100	150
	读者休息室		0.75 m 水平面	30	50	75
	书库		0.25 m 垂直面	20	30	50
	开敞式运输传送 设备		0.75 m 水平面	50	75	100
旅馆建筑	客房	一般活动区	0.75 m 水平面	20	30	50
		床头	0.75 m 水平面	50		100
		写字台	0.75 m 水平面	100	150	200
		卫生间	0.75 m 水平面	50	75	100
		会客间	0.75 m 水平面	30	50	75
	梳妆台		1.5 m 高处垂直面	150	200	300
	主餐厅、客房服务 台、酒吧柜台		0.75 m 水平面	50	75	100
	西餐厅、酒吧间、 咖啡厅、舞厅		0.75 m 水平面	20	30	50
	大宴会厅、总服务 台、主餐厅柜台、外 币兑换处		0.75 m 水平面	150	200	300
	门厅、休息厅		0.75 m 水平面	75	100	150
	理发		0.75 m 水平面	100	150	200
	美容		0.75 m 水平面	200	300	500
	邮电		0.75 m 水平面	75	100	150
	健身房、器械室、 蒸汽浴室、游泳池		0.75 m 水平面	30	50	75
	游艺厅		0.75 m 水平面	50	75	100
	台球		台 面	150	200	300
	保龄球		地 面	100	150	200
	厨房、洗衣房、小 卖部		0.75 m 水平面	100	150	200
	食品准备、烹调、 配餐		0.75 m 水平面	200	300	500
	小件寄存处		0.75 m 水平面	30	50	75
影院剧场建筑	门厅		地 面	100	150	200
	门厅过道		地 面	75	100	150
	观众 厅	影院	0.75 m 水平面	30	50	75
		剧场	0.75 m 水平面	50	75	100



续表

建筑类别	照 明 场 所		参考平面及其高度	照度标准值 (lx)		
				低	中	高
影 院 剧 场 建 筑	观众 休息厅	影院	0.75 m 水平面	50	75	100
		剧场	0.75 m 水平面	75	100	150
	贵宾室、服装室、 道具间		0.75 m 水平面	75	100	150
	化妆 室	一般区域	0.75 m 水平面	75	100	150
		化妆台	1.1m 高处垂直面	150	200	300
	放映 室	一般区域	0.75 m 水平面	75	100	150
		放映	0.75 m 水平面	20	30	50
	演员休息室		0.75 m 水平面	50	75	100
	排练厅		0.75 m 水平面	100	150	200
	声、光、电控制室		控制台面	100	150	200
	美工室、绘景间		0.75 m 水平面	150	200	300
	售票房		售票台面	100	150	200
铁 路 旅 客 站 建 筑	普通候车室、母子 候车室、售票室		0.75 m 水平面	50	75	100
	贵宾室、软席候车 室、售票厅、广播室、 调度室、行车计划 室、海关办公室、公 安验证处、问讯处、 补票处		0.75 m 水平面	75	100	150
	进站大厅、行李托 运和领取处、小件寄 存处		地 面	50	75	100
	检票处、售票工作 台、售票柜、结账交 班台、海关检验处、 票据存放室(库)		0.75 m 水平面	100	150	200
	公安值班室		0.75 m 水平面	50	75	100
	有棚站台、进出站 地道、站台通道		地 面	15	20	30
	无棚站台、人行天 桥、站前广场		地 面	10	15	20
	检票口、售票工作 台、结账交接班台、 票据存放库、海关检 查厅、护照检查室		0.75 m 水平面	100	150	200
港 口 旅 客 站 建 筑	贵宾室、售票厅、 补票处、调度室、广 播室、问讯处、海关 办公室		0.75 m 水平面	75	100	150

续表

建筑类别	照 明 场 所		参考平面及其高度	照度标准值 (lx)		
				低	中	高
港 口 旅 客 站 建 筑	售票室、候船室、 候船通道、迎送厅、 接待室、海关出入口		0.75 m 水平面	50	75	100
	行李托运处、小件 寄存处		地 面	50	75	100
	栈桥、长廊		地 面	20	30	50
	站前广场		地 面	10	15	20
	走廊、厕所		地 面	15	20	30
各 类 建 筑 的 公 共 场 所	楼梯间		地 面	20	30	50
	盥洗间		0.75 m 水平面	20	30	50
	贮藏室		0.75 m 水平面	20	30	50
	电梯前室		地 面	30	50	75
	吸烟室		0.75 m 水平面	30	50	75
	浴室		地 面	20	30	50
	开水房		地 面	15	20	30

表 6 体育运动场地照度标准值

运 动 项 目	参 考 平 面 及 其 高 度	照度标准值 (lx)					
		训 练			比 赛		
		低	中	高	低	中	高
篮球、排球、 羽毛球、网球、 手球、田径(室 内)、体操、艺术 体操、技巧、武 术	地面	150	200	300	300	500	750
棒球、垒球	地面	—	—	—	300	500	750
保龄球	地面	150	200	300	200	300	500
举重	地面	100	150	200	300	500	750
击剑	台面	200	300	500	300	500	750
柔道、中国摔 跤、国际摔跤	地面	200	300	500	300	500	750
拳击	地面	200	300	500	1000	1500	2000
乒乓球	台面	300	500	750	500	750	1000
游泳、蹼泳、 跳水、水球	水面	150	200	300	300	500	750
花样游泳	水面	200	300	500	300	500	750
冰球、速度滑 冰、花样滑冰	冰面	150	200	300	300	500	750

续表

运 动 项 目			参考平面及其高度	照度标准值 (lx)					
				训 练			比 赛		
				低	中	高	低	中	高
围棋、中国象棋、国际象棋			台面	—	—	—	500	750	1000
桥牌			桌面	—	—	—	100	150	200
射 击	靶 心		靶 心垂直面	1000	1500	2000	1000	1500	2000
	射击房		地面	50	100	150	50	100	150
足球曲棍球	观看距离	120m	地面	—	—	—	150	200	300
		160m		—	—	—	200	300	500
		200m		—	—	—	300	500	750
观众席			座位面	—	—	—	50	75	100
健身房			地面	100	150	200	—	—	—
消除疲劳用房			地面	50	75	100	—	—	—

表 7 运动场地彩电转播照明的照度标准值

项 目 分 组	参考平面及其高度	照度标准值 (lx)		
		最大摄影距离 (m)		
		25	75	150
A 组: 田径、柔道、游泳、摔跤等项目	1.0m 垂直面	500	750	1000
B 组: 篮球、排球、羽毛球、网球、手球、体操、花样滑冰、速滑、垒球、足球等项目	1.0m 垂直面	750	1000	1500
C 组: 拳击、击剑、跳水、乒乓球、冰球等项目	1.0m 垂直面	1000	1500	—

视觉功能来选择最低照度值，它的制订除了依据视觉功能的实验资料外，还需进行大量的调查、实测和咨询，并结合中国的电力生产水平和消费水平而制定。照度标准的范围值有高、中、低三档，供设计人员按建筑等级、功能要求和使用条件选取。为划定标准值的分级，中国规定照度标准值的系列分级为：0.5, 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 500, 1000, 1500, 2000, 3000 lx。

表 8 不同国家住宅建筑照度标准值比较表 (lx)

照明场所		中 国	英 国 (1984)	CIE (1983)	澳大利亚 (1976)
起居室 卧室	一般作业	20~30~50	50		
	看电视			电视屏上不能出现反射映像	
	书 写 阅 读	150~200~300	150 (短时) 300	200~300	300
	床头阅读	75~100~150	150	150~200	
	精细作业	200~300~500	300	300~500	
餐 厅	一般作业	20~30~50			
	餐 桌 面			100~200	
厨 房		30~50~75	300	300~500	
卫 生 间		10~15~20	100	100~200	200
通道、楼梯		5~10~15	150		

中国的照度标准分为工业企业照明设计标准和民用建筑照明设计标准两类。表 1~表 4 为工业企业照明设计采用的照度标准(见一般照明、局部照明和混合照明)，表 5~表 7 为民用建筑照明设计照度标准，表 8~表 13 为不同国家各类建筑照明场所照度标准值的比较表。

表 9 不同国家办公楼建筑照度标准值比较表 (lx)

照明场所	中 国	CIE (1986)	英国 (1984)	西德 (1972)	澳大利亚 (1976)	美 国 (1982)	苏联 (1979)	日 本 (1979)
普通办公室	100~150~200	300~500~750	500	250~500	400~600	200~300~500	300	300~500~750
大进深办公室		500~750~1000	700	1000		500~750~1000		750~1000~1500
计算机工作站	200~300~500	300~500~750	300~500		400~600	200~300~500	400	300~500~750
设计室、绘图室	200~300~500	500~750~1000	750	1000	600	1000~1500~2000	500	750~1000~1500
打字室	200~300~500					500~750~1000	400	
营业厅、陈列厅	100~150~200		500	250	400			750~1000~1500
接待室、会议室	100~150~200	300~500~750	500	250	300	200~300~500	200	300~500~750
档案室	75~100~150		300					
休息室、接待室	50~75~100		200		50	100~150~200		200~300~500



续表

照明场所	中 国	CIE (1986)	英国 (1984)	西德 (1972)	澳大利亚 (1976)	美 国 (1982)	苏联 (1979)	日 本 (1979)
楼梯间、电梯间 走道、交通区	20~30~50	100~150~200	100~150	120	50	50~75~100 100~150~200	50~100	
	15~20~30	50~100~150	100	120	50	100~150~200	50~75	
贮藏室、库房	20~30~50	100~150~200	100	120	200		100	75~100~150
厕所	15~20~30							
盥洗间	20~30~50		100	120	100			

表 10 不同国家旅馆建筑照度标准值比较表 (lx)

照明场所	中 国	英国 (1984)	日本 (1979)	美国 (1984)	CIE (1986)	照明场所	中 国	英国 (1984)	日本 (1979)	美国 (1984)	CIE (1986)
客房	20~30~50	100	100	100	50	大宴会厅	100~150~200		300	300~500	200~500
客房床头	50~75~100	200				大厅休息厅	75~100~150	200			
客房写字台	100~150~200		500	300		总服务台	150~200~300	400	100	500	
客房卫生间	50~75~100	100	70		100~200	主餐厅柜台	150~200~300				
梳妆台镜前	150~200~300					客房酒吧 柜 台	50~75~100				
会客室	20~30~50										
厨 房	100~150~200			500	200~500	美容室	200~300~500				
食品准备 和烹调		400				邮 电	75~100~150				
贮 藏		200				健身房（器 械室、蒸汽 浴室、游 泳池）	30~50~75				
地窖酒库		200									
主餐厅	50~75~100		300	30~300	200~500	游艺厅	50~75~100	100		100	100
西餐厅、酒吧	20~30~50					台球	150~200~300				
咖啡厅、舞厅	20~30~50					保龄球	100~150~200				

表 11 不同国家影院剧场建筑照度标准值比较表 (lx)

照明场所	中国	英国 (1984)	苏联 (1979)	澳大利亚 (1976)	日本 (1979)	照明场所	中国	英国 (1984)	苏联 (1979)	澳大利亚 (1976)	日本 (1979)
门 厅	75~100~150	75	150	100		化妆台	150~200~300				
观众厅	剧场	50~75~100	100	300	150~300	化妆室	75~100~150		200		
	影院	30~50~75	50	75	50	放映室	75~100~150	150		200	75~150
观众休息厅	剧场	75~100~150		75	150~300	放映室 放映时	20~30~50				10~30
	影院	50~75~100		150		声、光、电 控制室	100~150~200	150			
贵宾室	75~100~150					美工室、 绘景室	150~200~300				
演员休息室	50~75~100		200								
排演厅	100~150~200					售票房	100~150~200	300		400	300~700
服装室	75~100~150					治 安 办公室	75~100~150				
道具间	75~100~150										



表 12 不同国家铁路旅客站建筑照度标准值比较表 (lx)

照明场所	中 国	日 本 (1979)	英 国 (1984)	澳大利亚 (1976)	照明场所	中 国	日 本 (1979)	英 国 (1984)	澳大利亚 (1976)
国际候车室	75~100~150	100~500	200	200	行李 托运处 行李 提取	30~50~75	75~150	100~200	300
一般候车室	50~75~100								
售票厅	75~100~150	200~750	500	400	大 厅	50~75~100	100~500	200	200
检票厅	100~150~200	200~750	200	400	通 道	15~20~30	75~150	~	20~50

表 13 不同国家体育建筑照度标准值比较表 (lx)

运动项目	级别	中 国	CIE (1983)	法国 (1978)	英国 (1974)	美国 (1981)	荷兰 (1983)	西德 (1973)	日本 (1978)
篮 球	训 练	150~200~300	300	300	500	300	300	200	100
	比 赛	300~500~750	500	500	750	500	500	400	500~1000
排 球	训 练	150~200~300	300	300	300	100	300	200	100
	比 赛	300~500~750	500	500		200	500	400	500~1000
羽毛球	训 练	150~200~300	500	200	200	200	300	200	200
	比 赛	300~500~750	750	500	300	300	600	400	500~1000
网 球	训 练	150~200~300	500	500	500	750	500	200	200
	比 赛	300~500~750	750	800	750	1000	750	400	500~1000
手 球	训 练	150~200~300	300	400		300	300		100
	比 赛	300~500~750	500	500		500	500		200~500
田 径	训 练	150~200~300						200	50
	比 赛	300~500~750						400	200~500
体 操	训 练	150~200~300	300	200		300	300	200	200
	比 赛	300~500~750	500	500			500	400	500~1000
艺术体操	训 练	150~200~300	300						
	比 赛	300~500~750	500						
技 巧	训 练	150~200~300	300						
	比 赛	300~500~750	500						
武 术	训 练	150~200~300							
	比 赛	300~500~750							
曲棍球	训 练	150~200~300	300				400	200	
	比 赛	300~500~750	500				600	400	
保龄球	训 练	150~200~300	300						
	比 赛	150~200~350	500						
举 重	训 练	100~150~200						200	
	比 赛	300~500~750						400	
击 剑	训 练	200~300~500	500	400		300	400	300	
	比 赛	500~750~1000	750	500		500	600	600	
柔 道	训 练	200~300~500	300	200			200	200	200
	比 赛	300~500~750	500	500			400	400	500~1000
中国摔跤	训 练	200~300~500				2000		300	200
	比 赛	300~500~750				5000		400	500~1000
国际摔跤	训 练	200~300~500				2000		300	200
	比 赛	300~500~750				5000		400	500~1000



续表

运动项目	级别	中 国	CIE (1983)	法国 (1978)	英国 (1974)	美国 (1981)	荷兰 (1983)	西德 (1973)	日本 (1978)
拳 击	训 练	200~300~500	300	1000	500	2000	300	300	200
	比 赛	1000~1500~2000	1500~3000	3000	1000	5000	1500~3000	1500	500~2000
乒 乓 球	训 练	300~500~750	500	500	300	300	500	300	200
	比 赛	500~750~1000	750	500	500	500	750	600	500~1000
游 泳	训 练	150~200~300	300	300	300	300	300	200	100
	比 赛	300~500~750	500	300	500	500	500	400	500~1000
跳 水	训 练	150~200~300	500					200	
	比 赛	300~500~750						500	
水 球	训 练	150~200~300						200	
	比 赛	300~500~750						400	
花样游泳	训 练	200~300~500						200	100
	比 赛	300~500~750						400	
冰 球	训 练	150~200~300	200	400	500	500	400	200	100
	比 赛	300~500~750	500~750	400~800	750	1000	800	400	200~500
速度滑冰	训 练	150~200~300				500			
	比 赛	300~500~750				1000			
花样滑冰	训 练	150~200~300	200	400		500	300	200	
	比 赛	300~500~750	500~750	400~800		1000	600	400	
围 棋	训 练	500~750~1000							
	比 赛								
中国象棋	训 练	500~750~1000							
	比 赛								
国际象棋	训 练	500~750~1000							
	比 赛								
桥 牌	训 练	500~750~1000							
	比 赛								
靶 心	训 练	750~1000~2000			1000	1000		700	500
	比 赛	750~1000~2000						700	
通 道	训 练	75~100~150			150	100		150	100~200
	比 赛	75~100~150						150	
射 击 点	训 练	75~100~150			300	200			
	比 赛	75~100~150							

(吕光大)

zhaodu jsuan

照度计算 (illuminance calculation) 在电气照明设计中,对照明装置在被照面上产生的照度进行的计算。照度计算包括两个方面的内容:计算已知照明系统在被照面上产生的照度;根据照度要求和照明布置确定照明器的安装数量和所需电光源的功率。照度计算有点光源点照度计算法和平均照度计算法两种。点光源点照度计算法能较精确地计算被照面某点的照度,适用于验算工作点的照度和工作面照度分布

的均匀度。平均照度计算法只能计算被照平面的平均照度,求不出被照面的照度分布,所以只适用于比较均匀的照明系统。

点光源点照度的计算 点光源产生的点照度可以用距离平方反比定律、余弦定律和余弦立方定律三个照度定律导出。它是光度测量和照度计算的基础。

距离平方反比定律,即点光源在与照射方向垂直的法平面上产生的照度与光源发光强度 I_0 成正比,与光源至被照面的距离 l 的平方成反比,见图 1 (a)。

点光源点照度计算还需符合余弦定律和余弦立方定律,即点光源照射在水平面上的任一点产生的照度,与光源在该方向的光强及被照面法线与入射光线的夹角的余弦成正比,见图 1 (b)、(c)。

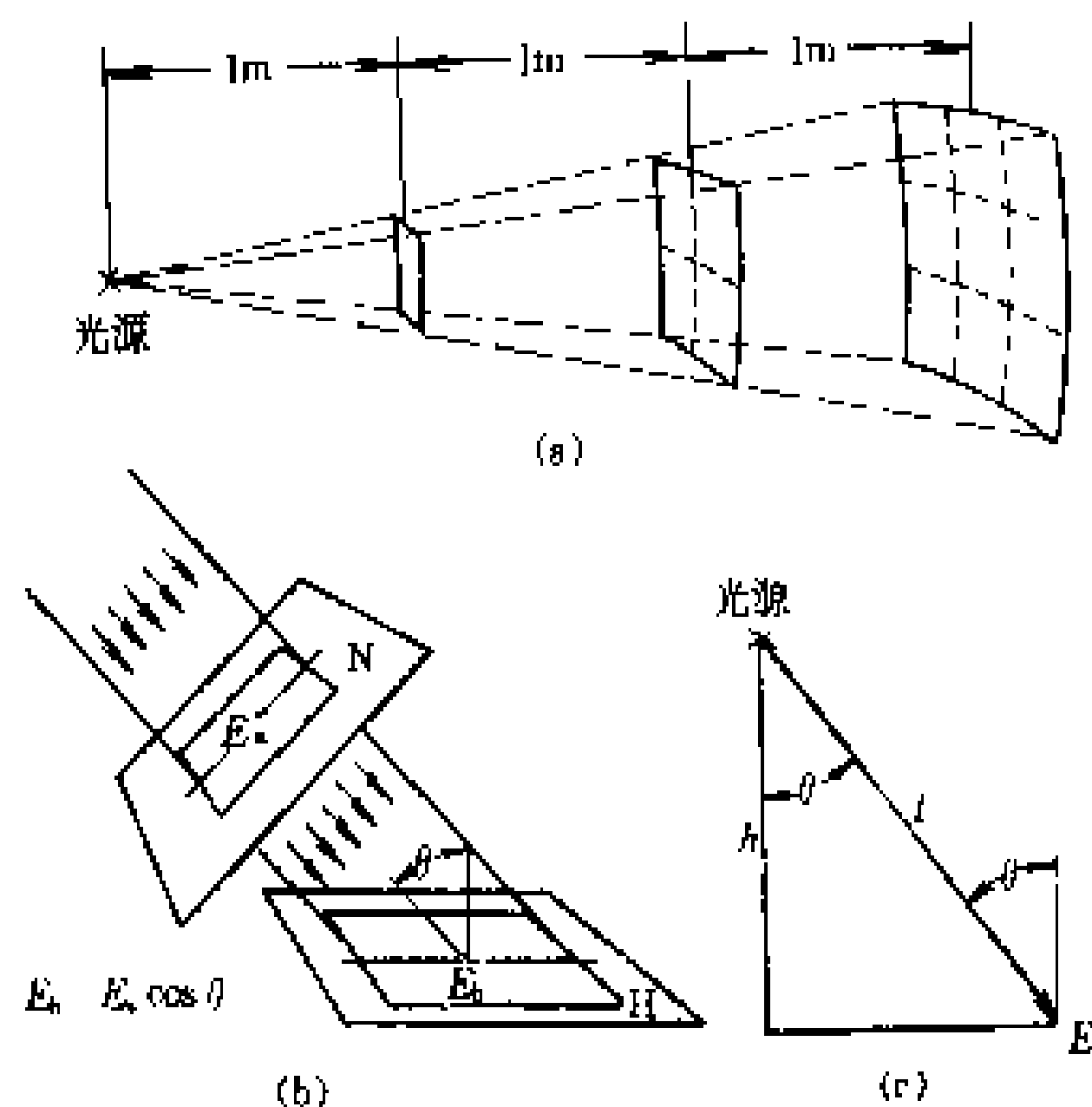


图 1 照度定律图示

(a) 距离平方反比定律; (b) 余弦定律;
(c) 余弦立方定律

点光源点照度基本计算公式为

用距离平方反比定律导出 $E_n = \frac{I_\theta}{l^2}$

用余弦定律导出 $E_h = E_n \frac{N}{H} = \frac{I_\theta}{l^2} \cos \theta$

用余弦立方定律导出 $E_h = \frac{I_\theta}{h^2} \cos^3 \theta$

点光源点照度计算图如图 2 所示。点照度计算应用于实际电气照明设计中又称逐点计算法,较适用于局部照明、采用反射式照明器的照明、特殊倾斜面上的照明以及其他需要准确计算照度的场所。它可按照灯具(见照明器)形状和不同的布灯方式,分别按点状光源或线状光源求算。当荧光灯(线状光源)不是成行布灯,其灯间连接长度不超过悬挂高度 1/2 时,可以把它当作点光源用逐点计算法求算。

逐点计算法可以计算出水平面、垂直面和倾斜面上的不同照度(如图 2 所示)。常采用的求水平面最小照度的计算公式为

$$E_{min} = \frac{F \mu \Sigma e}{1000K}$$

每个灯具的光源光通量为

$$F = \frac{1000E_{min}K}{\mu \Sigma e}$$

式中 E_{min} 为最小照度, lx; F 为每个灯泡的光通量, lm; K 为减光补偿系数,见表 1; μ 为附加照度系数,见表 2; Σe 为各型照明灯具(其光源光通量为 1000 lm)在计算点上,所产生的平均照度之和, lx。

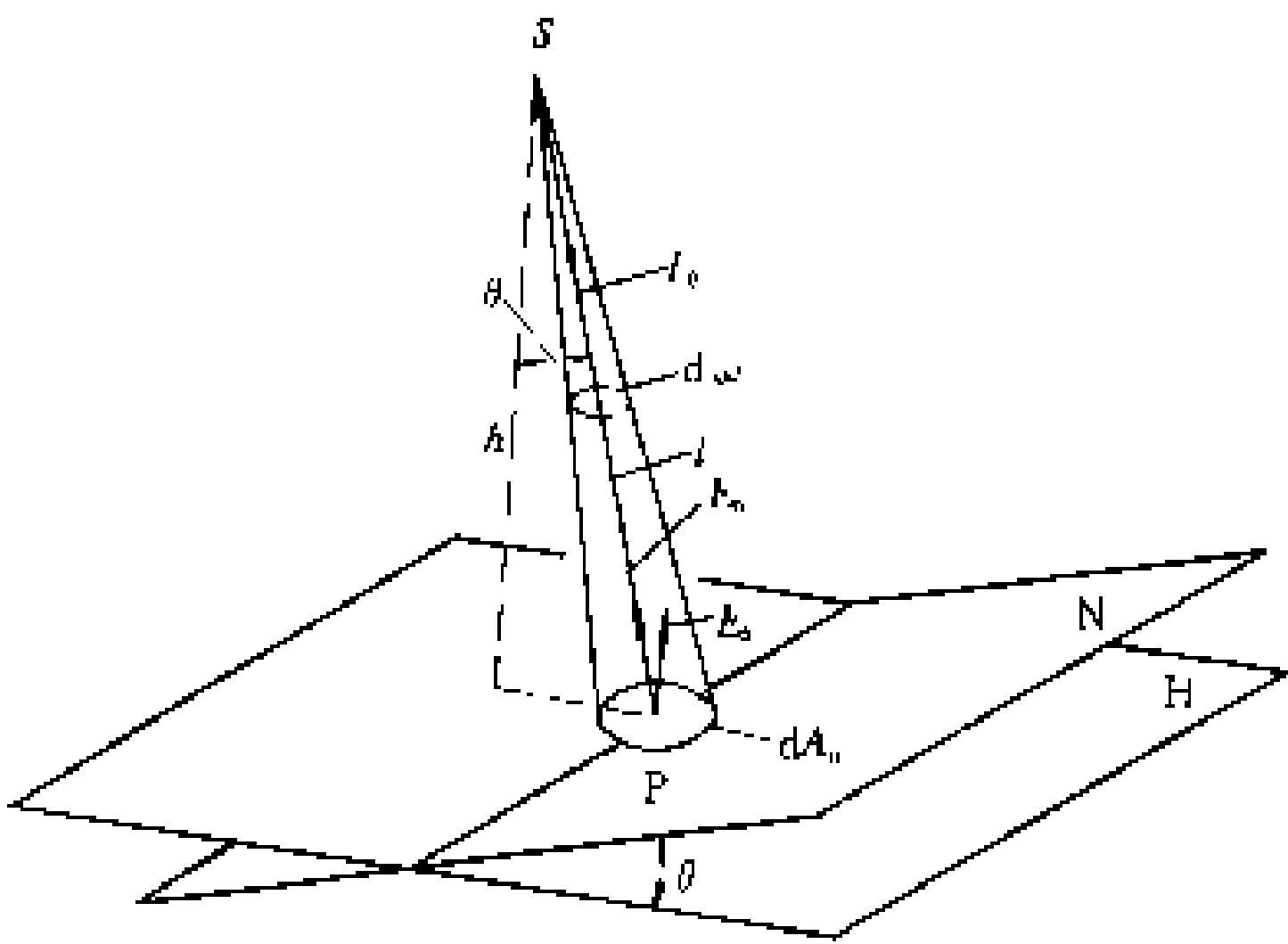


图 2 点光源点照度计算图

S—点光源位置; I_θ —光源在 P 点方向的发光强度, cd;
 h —光源距水平面的悬挂高度, m; l —光源至 P 点的距离, m; E_n —P 点法线照度,即与入射光线垂直的指向平面上 P 点的照度, lx; E_h —水平面上 P 点的照度

e 值一般可由下式求得

$$e = \frac{I_\theta \cos^3 \alpha}{h^2}$$

式中 I_θ 为计算点方向的发光强度, cd; α 为光轴线与光

表 1 减光补偿系数 K 值

照 明 场 所		最 有 利 值			在电力消耗上的允许值		
		灯具清扫 次 数	K 值		灯具清扫 次 数	K 值	
			白炽灯	荧光灯		白炽灯	荧光灯
稍有粉尘烟灰的场所		每月二次	1.3	1.4	每月一次	1.4	1.5
粉尘烟灰较多的场所		每月四次	1.3	1.4	每月二次	1.5	1.6
有大量粉尘烟灰的场所		每月六次	1.4	1.5	每月四次	1.5	1.5
办公室、住宅及其他类似场所		—	—	—	每月二次	1.3	1.4
室 外	普通照明灯具	—	—	—	每年二次	1.3	—
	投光灯	—	—	—	每年二次	1.5	—

源在被照点方向射线间的夹角; h 为计算高度, m。

设计时, 式中 e 值可根据灯具厂提供灯具的等照度曲线查得, 然后按照规定的照度值, 用求每个灯具的光源光通量的计算式, 算出灯具光源的光通量 F (lm), 用以选择光源功率 (W), 其光源的光通量能与求算出的光通量数值接近为最佳。

平均照度计算 平均照度计算通常采用利用系数



表 2 附加照度系数 μ

ρ_q/ρ_t	计算点的 位置	灯具类型和距高比 (L/h)											
		余弦配光类				深照配光类				均匀配光类			
		0.8	1.2	1.6	2.0	0.8	1.2	1.6	2.0	1.8	1.2	1.6	2.0
30/50	中 央 近 墙	1.2	1.13	1.09	1.08	1.11	1.06	1.05	1.05	1.51	1.43	1.58	1.72
		1.48	1.31	1.26	1.24	1.27	1.18	1.15	1.15	1.85	1.63	1.64	1.81
50/70	中 央 近 墙	1.33	1.2	1.16	1.15	1.19	1.12	1.1	1.1	—	—	—	—
		1.71	1.47	1.42	1.41	1.43	1.3	1.27	1.27	—	—	—	—

注：1. 本表白炽灯和荧光灯均适用。
2. ρ_q 为墙壁反射系数； ρ_t 为天棚反射系数。

法（或称流明法）。工作面上的平均照度 E 系由光源光通量的直射分量以及经房间的天棚、地面、墙壁的多次反射分量所造成。在工作面上直接或间接投来的光通量之和 ΣF ，与设置在受照房间内照明灯具所发出总光通量 NF 之比称为利用系数 η 。平均照度 E 和所需灯数 N 可按下列各公式分别求得

$$E = \frac{FN\eta K}{A}$$
$$N = \frac{EA}{F\eta K}$$

式中 E 为所需平均照度，lx； F 为每个灯泡的光通量，lm； N 为所需的灯数，个； K 为减光补偿系数，查表 1； A 为房间面积， m^2 ； η 为光通量利用系数，查产品说明书。各国采用的利用系数基本原理是相同的，不同之处主要是利用系数的计算方法和设定条件有所不同。在设计应用上，各国都根据本国所生产不同类型的照明器的发光强度分布特性，编制成可供设计使用的各类照明器的利用系数数值表。

（吕光大 赵振民）

zhao ming fen lei

照明分类 (luminaire classification) 以照明使用性质划分的照明类别。以照明设备的安装部位或使用功能而构成的基本制式，称为照明方式。电气照明种类繁多，世界各国归类方法、名词术语不尽相同。不同种类照明的供电方式、电源切换时间和持续工作时间以及照度差异很大。

按照照明的作用分类 为适应国际环境扩大对外交流的需要，中国国家标准 GBJ133—90 和 GB50034—92 的照明设计标准中，对照明分类、名词术语已与国际照明委员会(CIE)取得一致。中国以前按照明作用仅将照明分为常用照明(即正常照明)和事故照明(即应急照明)两类。20 世纪 90 年代则分为正常照明、应急照明、值班照明、警卫照明和障碍照明五类，

其中应急照明包含有备用照明、安全照明和疏散照明。

正常照明 在正常情况下使用的、固定安装的室内的人工照明。它是电气照明的基本种类，在照明场所，对产生照度标准指定的照度指标起主要的作用。

正常照明装设在如电厂主厂房、辅助生产用建筑物和生活福利建筑物的所有室内外场所，以及在夜间有人工作的露天场所、有运输和有人通行的露天场地和道路等。

正常照明可以单独使用，也可以与应急照明、值班照明同时使用，但控制线路必须分开。

应急照明 在正常照明系统，因电源发生故障而熄灭的情况下，承担供人员疏散、保障安全或继续工作的照明设施。应急照明按功能划分有三种，即疏散照明、安全照明和备用照明。疏散照明是在正常电源发生故障、正常照明熄灭时，为使人员能容易而准确无误地找到出口而设置的应急照明；安全照明是在正常照明因电源故障熄灭后，为确保处于潜在危险中的人员的安全而设置的应急照明；备用照明是在正常照明因电源故障熄灭后，为确保正常活动能继续进行而设置的应急照明。随同正常照明同时开灯使用，遇有正常照明电源因故障熄灭时，仍能持续保持点亮的应急照明，叫做持续运行的应急照明；正常照明因电源故障熄灭之后才能点亮的应急照明，叫做非持续运行的应急照明。

发电厂和变电所装设应急照明场所举例见表 1。

值班照明 照明场所在无人工作时，保留的一部分照明。值班照明可利用正常照明中能够单独控制的一部分或利用应急照明的一部分或全部，但在开关控制上应该有独立的控制开关。

警卫照明 为了警戒的需要，而沿警卫线装设的正常照明。警卫照明的设置，要按保安部门的要求，在警卫范围内装设。

障碍照明 障碍照明的装设，应严格执行所在地区航空或交通部门的有关规定。对于飞机场周围的较高建筑物或构筑物，如烟囱、水塔等对飞机的安全起飞



和降落威胁较大，应按各地民航部门的有关规定装设障碍照明。对于有船舶通行的航道两侧的建筑物，在低水位的河边和高水位的河中心，船舶在夜间通行易发生事故的环境和场所，都应按照交通部门的有关规定，装设航道障碍照明。

表 1 发电厂和变电所装设应急照明场所举例

装设区域场所	装设房间、部位名称
锅 炉 房	锅炉运行层；机炉集中控制室；底层；锅炉本体平台；煤斗层；司水平台；引风机室；送风机处；燃油泵房；磨煤机区段
输煤系统	碎煤机室；转运站；有叶轮给煤机的卸煤装置；室内输煤栈桥；输煤集中控制盘处
汽 机 房	汽机运行层；底层；给水泵和循环水泵区段；发电机出线小室；除氧器层；管道层；控制盘处
供水系统	中央水泵房
电气车间	电气主控室和网络控制室；在主控制楼内的低压配电室；蓄电池室；充电机室；压缩空气机室；通信室；载波机室；各级电压的屋内配电装置
楼梯、通道	装有应急照明的建筑物的主要通道和楼梯间；主控制室至主厂房的天桥

按照照明方式分类 按照照明方式有一般照明、分区一般照明、局部照明和混合照明之分。

一般照明 在整个房间内，能普遍地产生规定的视觉条件的一种照明方式。它是不考虑特殊局部的需要，为照亮整个场地而设置的照明。在整个房间的被照面上所产生的照度相同的一般照明称为均匀的一般照明。一般照明方式的照明器，在被照空间多采用均匀布置。凡不适合装设局部照明或采用混合照明不合理时，宜采用一般照明方式照明；在公共场所及生活福利的房间内，都应采用一般照明方式照明。

分区一般照明 在房间内的不同被照面上，产生不同照度的照明方式。当某一工作区需要的照度高于一般照明照度时，多采用分区一般照明方式照明。

局部照明 为了提高某一工作地点的照度，直接在工作地点附近装设照明设施的照明方式。表 2 为发电厂应装设局部照明的场所和地点。

在一个工作场所，不允许只装设局部照明而无一般照明。

混合照明 亦称综合照明，由一般照明和局部照明共同构成。其工作而上的照度由一般照明和局部照明共同产生。工业厂房的照明多采用一般照明和混合照明两种方式。

表 2 发电厂应装设局部照明的场所和地点

装设区域场所	具体装设地点和部位
锅炉房	锅炉汽包的水位表和压力表；锅炉低水位表；锅炉房热力控制盘（无控制室时）；磨煤机油系统视察孔
汽机房	热力控制盘；汽机本体上的轴承温度计、回油观察孔、推力轴承指示计；凝气器、除氧器水箱、高低压加热器、蒸发器的水位计；给水除氧控制盘

一般照明和混合照明比较见表 3。

表 3 一般照明和混合照明比较

照明方式	主 要 特 点 说 明
一般照明	1. 与混合照明相比，照明装置的投资费用较少，照明设施统一，便于维护 2. 在工作表面和整个视野，具有较均匀的亮度分布 3. 当室内工作点有变化时，不需变动照明器的布置
混合照明	1. 可以选择光的照射方向，有利于增加重要部件的可见度，可以避开反射眩光和直射眩光 2. 有选择的在工作面上限制阴影的产生 3. 由于局部照明距工作面较近，用小功率灯泡，可以获得较大的照度 4. 使用与维护比较灵活方便，停止局部工作只须关掉局部照明

按照照明器的光分布特性分类 有直接照明、半直接照明、均匀漫射照明、半间接照明和间接照明。

直接照明 利用照明器下射 90%~100% 的辐射光通量所形成的照明。根据照明器反射面的材料、饰面和轮廓形状以及采用的遮光角或控光材料，照明器的配光从宽扩散到非常集中的配光，可以有很大的区别。

半直接照明 照明器的光分布中有 60%~90% 的辐射光通量向下投射，但是有少量上射光通量照明顶棚和墙面的上部所形成的照明。上射光通量能使阴影柔和，并改善室内亮度分布。

均匀漫射照明 照明器的下射和上射光通量大致相等时所形成的照明。

半间接照明 照明器上射光通量为 60%~90% 时所形成的照明。它的特点是室内光分布较均匀，同时少量下射光通量又能在视觉作业上产生一定程度的方向性。

间接照明 将照明器的 90%~100% 辐射光通量向上照射顶棚和墙的上部所形成的照明。良好的间接照明使整个顶棚成为照明的二次光源。为使顶棚上的

亮度分布均匀,设计时,应使照明器与顶棚间保持足够的距离。

其他分类 在照明设计中,恒定辅助人工照明、定向照明、泛光照明和特殊场所的照明等应用也比较多。

恒定辅助人工照明 (Permanent Supplementary Artificial Lighting, PSALI) 是当单独使用天然采光不能达到照明要求时,为补充天然光的不足而设置的人工照明。

定向照明是从最佳的用光方向把光线投射到作业面或物体上的照明。

泛光照明是一种利用泛光灯照明建筑物立面或室外广场、海港、工地等场所的照明。

特殊场所照明的种类很多,如防爆照明、水下照明、障碍照明和影视照明等均属于这类照明。

另外,随着电子计算机在照明中的大量应用以及人们对能源和环境问题的普遍重视,诸如智能照明、有视觉显示装置(VDU)场所的照明、节能照明、利用空调灯具的照明等不断出现。预计今后随着照明技术的发展,照明的类别将不断增多,分类方法也将越来越科学和实用。

参考书目

詹庆旋. 建筑光环境. 北京:清华大学出版社, 1988
(赵振民 吕光大)

照明控制

照明控制 (lighting controlling) 对照明光源亮度及色调进行的调节。改变电光源的输入电压,可实现对光源点亮、熄灭、亮度和色调的控制,为改变电光源输入电压而提供的装置被称为开关或控制器。

照明控制方式分为手动照明控制、半自动照明控制和自动照明控制两大类。

手动照明控制 通过人直接操纵开关实现的照明控制。手动开关分为机械式和电子式。

机械式手动开关照明控制 品种繁多,其手动操作的开关有拉线式、按键式、推拉式、旋转式。机械式开关的工作原理都是通过简单的机械装置,将连接电光源的通电回路接通或切断,以实现灯的点亮或熄灭的控制。这类开关结构简单、安全耐用、使用广泛。

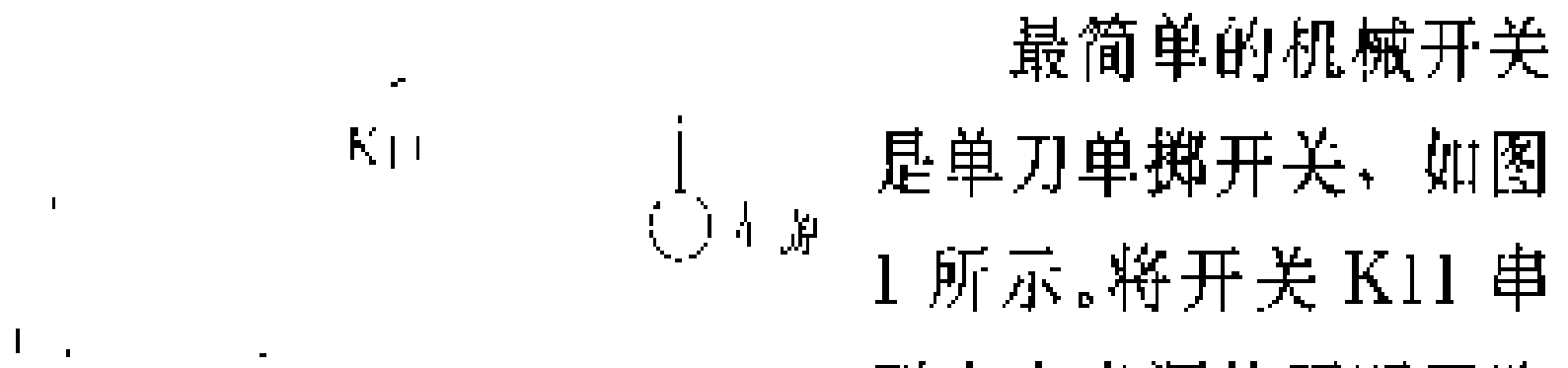


图1 单刀单掷式开关控制原理
当K11闭合或打开时,光源点亮或熄灭。

为满足特殊控制功能,需要多个单刀多掷或多刀

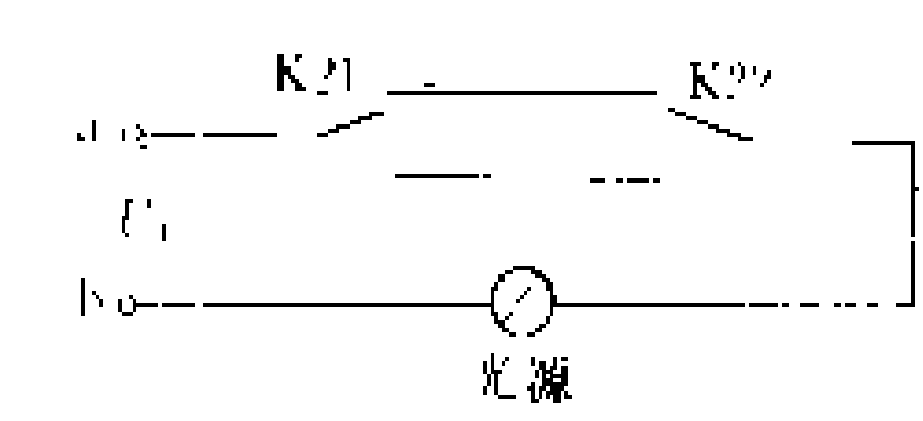


图2 双单刀双掷开关控制原理
开关K21或K22都可随意点亮或熄灭光源。

图3是由两个单刀双掷开关,一个双刀双掷开关与光源回路串联组成的三方位控制系统,其中任何一个开关都可随意点亮或熄灭光源;图4是两个单刀双掷开关,两个双刀双掷开关组成的四方位控制系统。依此规律可用两个单刀双掷, n (0或正整数)个双刀双掷开关组成 $n+2$ 个多方位控制系统。这类开关多用于建筑物的楼梯、走廊、车间、库房、影剧院等场所。每个开关都可以点亮或熄灭这个光源,而不受其他开关状态的影响。

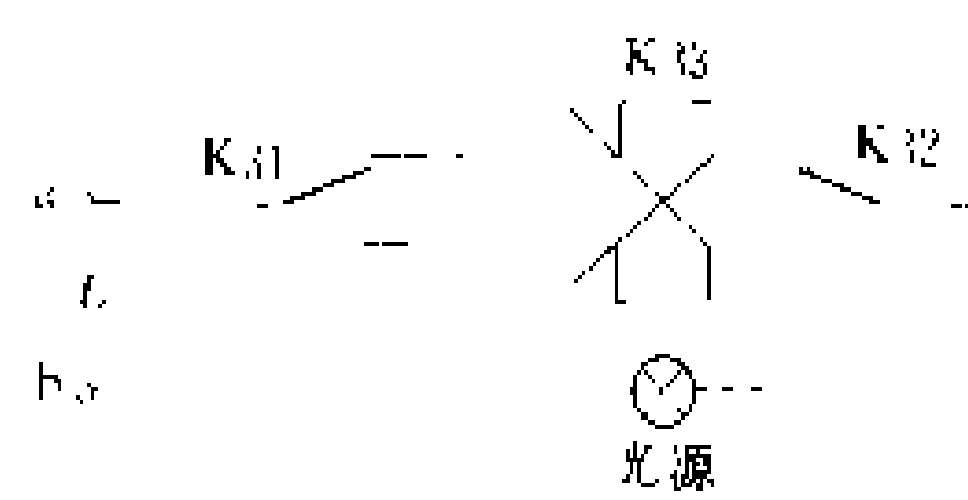


图3 双单刀双掷与双刀双掷组合开关控制原理

电子式手动开关照明控制 为了实现机械式开关

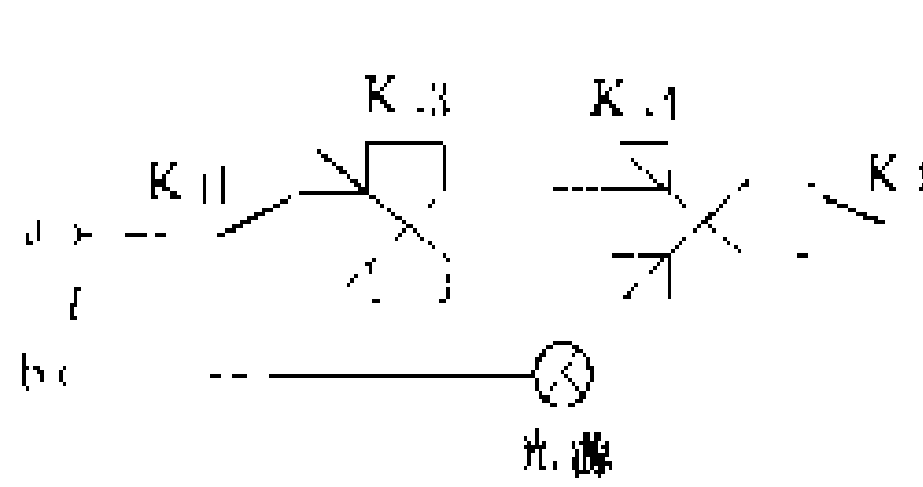


图4 双单刀双掷与双双刀双掷组合开关控制原理

所不能满足的某些特殊性能而设计制作的开关,操作方式有开关式、轻触式、感应式和调节式。

开关式是指通过操纵普通机械开关的开与关就能实现某种特殊控制性能的开关装置,是为延长白炽灯寿命而设计的,也称为软开关。图5所示是一种具有缓冲功能的开关控制原理图。图中K51为普通机械开关,当K51闭合接通

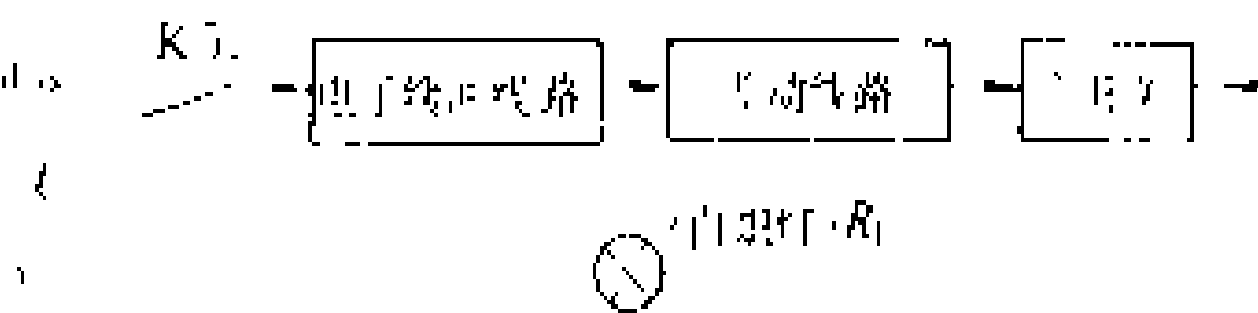


图5 缓冲式开关原理

电源后,由于电子线路的缓冲作用,扼制了白炽灯冷态电阻 R_L 造成的高于额定电流10~20倍的瞬间冲击电流,而后在驱动电路的作用下,打开主开关(主开关一般采用晶闸管元件),点亮白炽灯,关亦如此。该开关实现了开渐亮、关渐暗的控制,消除了冲击电流对光源的损害,延长了光源的寿命。

轻触式是为了方便使用和有助于环境装饰而设计的开关装置。它是用微小的电信号来实现对灯的控制,手感好,安全耐用,如图6所示。图中K61为轻触式

微动开关,当 K61 受到轻轻触动,便有一个电信号送到电子控制线路,电子线路将信号进行放大处理后去驱动主开关点亮或关闭光源。主开关一般由晶闸管或继电器等组成。此开关使用不同功能的电子控制线路,还可以方便的实现对光源亮度的调节,如图 7 所示。具有这种亮度调节功能的开关被称为调光开关(见调光照明控制)。

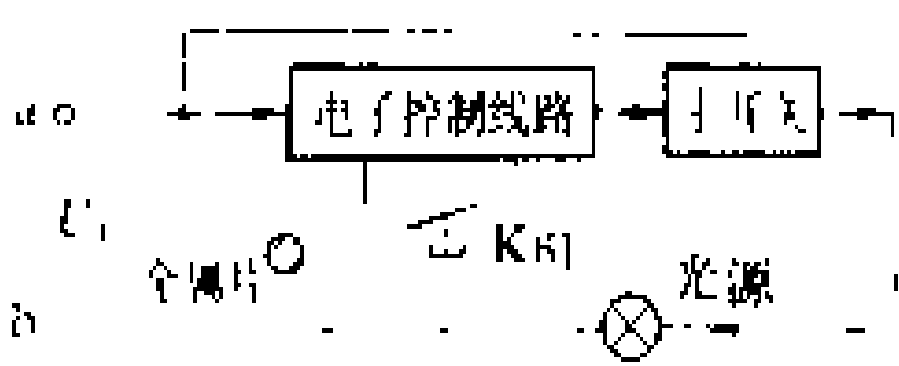


图 6 轻触式开关控制原理

上述各类开关,多用于对白炽灯、碘钨灯、卤钨灯类电光源的控制。对于荧光灯、汞灯、金属卤化物灯、高压钠灯、低压钠灯、氙灯、氖灯、气体放电灯等电光源,因其构造的特殊性,除采用手动开关外,尚需分别采用特有电子装置进行控制。

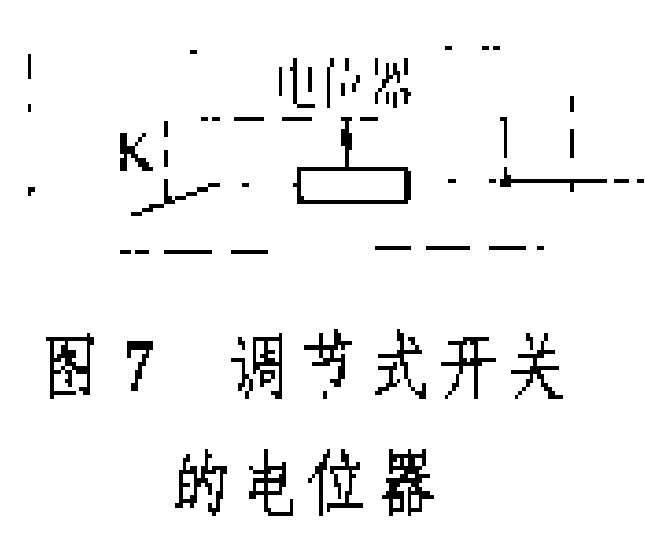


图 7 调节式开关的电位器

以交流电源供电的荧光灯控制装置的典型的电感镇流器型线路,如图 8 所示,当电源 K81 闭合后,电压 u_1 通过镇流器 L 及灯丝加在启辉器 S 上,由于启辉器的热接触功能,使镇流器两端产生很高的自感电动势,与电源电压一起加在灯管两端,点亮荧光灯。

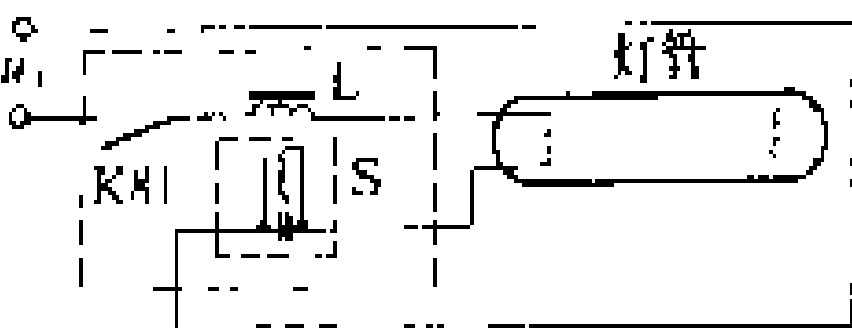


图 8 荧光灯控制电路

电感镇流器型控制装置,由于造价低、可靠、耐用等优点,自 1938 年荧光灯问世以来,获得了广泛应用。但它对电网电压要求高,自身功耗大,有频闪及蜂鸣等缺点。为节约电能,提高照明质量,在 20 世纪 70 年代,美国及荷兰飞利浦公司研制出了采用高频激发方式点亮灯管的镇流器,典型线路如图 9 所示。它由整流滤波电路,高频振荡开关电路、负载谐振电路、抗干扰电路和保护电路等五部分组成。随着电子技术的发展,电子镇流器已向集成块和厚膜块方向发展,原理如图 10 所示。电子镇流器以其高效、节能、启动特性好、无频闪、无噪声、体积小、重量轻等特点,在荧光灯照明场所以及节能灯开发与利用方面已得到了越来越广泛的

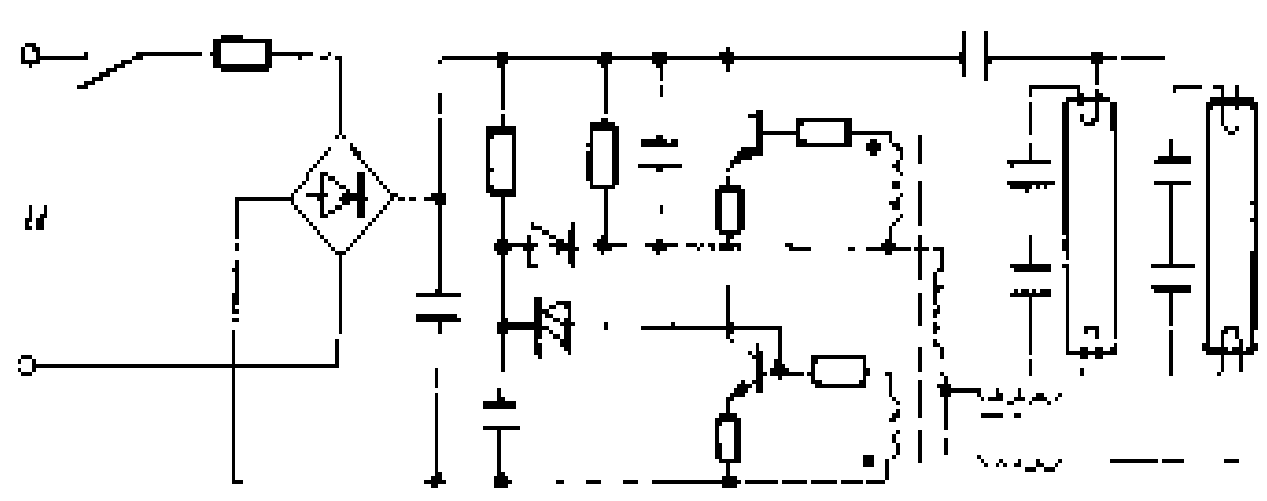


图 9 高频激发镇流器的典型电路

应用。

应用。

用直流电源供电的荧光灯开关装置,实际上是一个半导体高频逆变器,如图 11 所示。当 K 闭合时,晶体管 V1 和 V2 反复交换导通和切断,从直流电源 E 上获得 15~30 kHz 的高频功率,通过变压器 T 升压,点亮荧光灯。

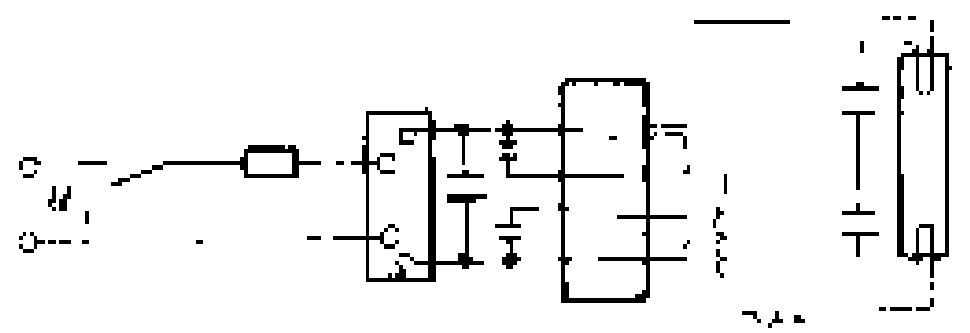


图 10 电子镇流器电路

汞灯、金属卤化物灯、高压钠灯、低压钠灯的控制开关,根据其电源电压、灯功率大小和灯构造特性的不同,选用扼流圈型、漏磁变压器型、定功率型、超前峰值型、滞后相位型,高压脉冲型,预热启动型等具有不同特点的控制器。这些控制器除开关型外,还有调光型(见调光灯照明控制)。

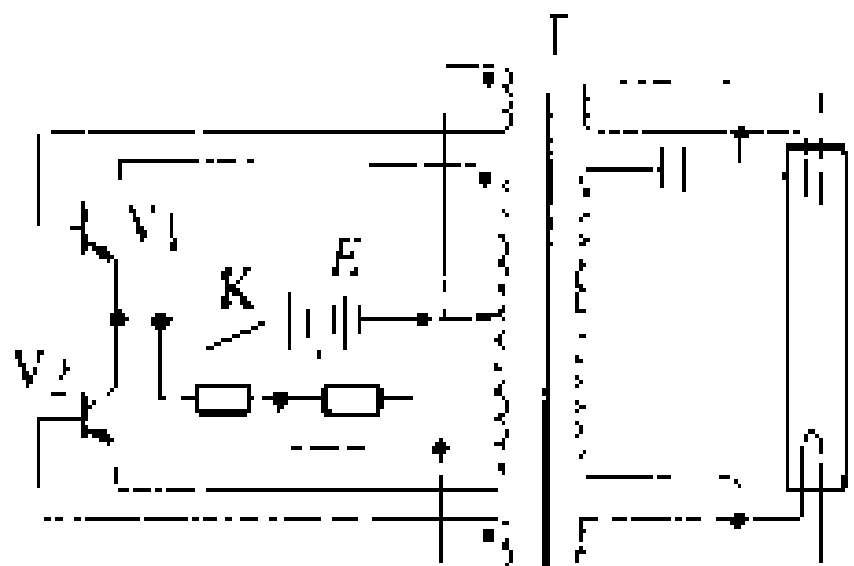


图 11 直流荧光灯的控制电路

半自动照明控制 氙灯的控制开关,根据氙灯种类,有短弧氙灯开关、长弧氙灯开关和脉冲氙灯开关。电子式手动开关与自动控制功能相结合构成了半自动开关装置:当人们按动开关点亮一盏灯,经过几分钟后,这盏灯可自动熄灭。具有这种功能的开关称为延时开关(见定时照明控制),是半自动开关的一种。

歌厅、舞台常见的旋转、扫描、点射、频闪、流水式灯光变换,都是经过人为地开关,控制一种或一组转动机构或电子控制线路,创造出一种五光十色,千变万化的彩色世界,给人以梦幻般的享受。这种开关与转动机构或电子线路组成了一个半自动灯光控制系统。

遥控开关也属半自动类,它由指令发射机和信号接收机及执行机构三大部分组成。当人为地操作发射机发射出指令后,接收机把接收到的指令信号经解码放大后,驱动相应的执行机构,对光源进行点亮、熄灭、明暗调节等远距离控制。遥控开关分有线遥控和无线遥控两大类。

有线遥控是将发射信号通过导线传输给接收机,如图 12 所示,传输导线可用专用电缆,也可利用市电

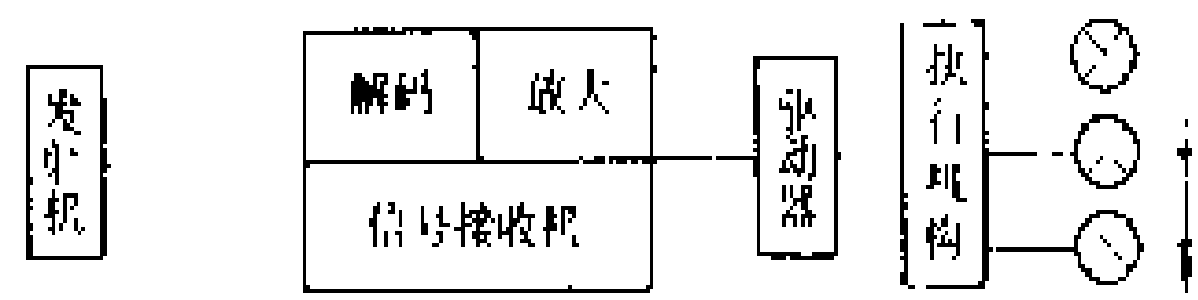


图 12 有线遥控原理框图

力线或电话线实现载波遥控。无线遥控是根据不同需要将指令信号以电磁波、声波、超声波、次声波或光波

等形式，通过空间传送给接收机，实现对光源的控制（如图 13 所示）。

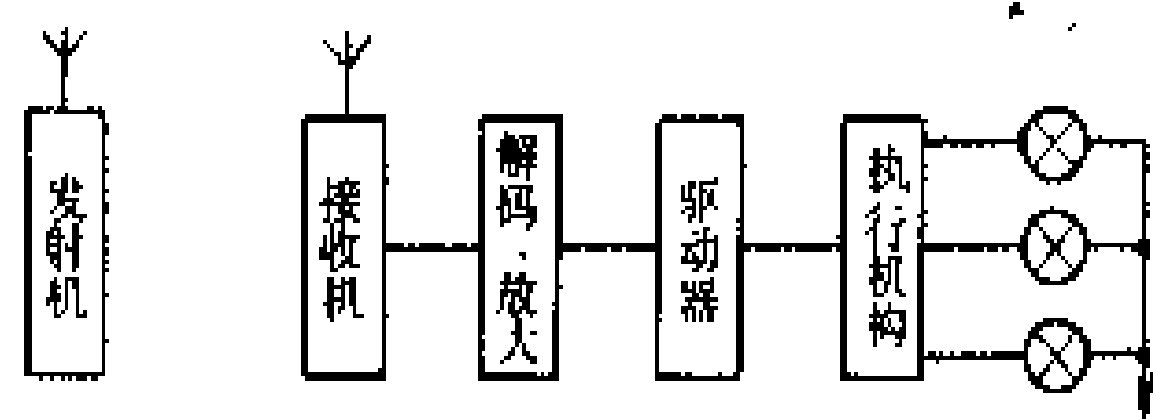


图 13 无线遥控原理框图

自动照明控制 指不用人为操作，光源的亮度和色调可根据人们事先约定的条件，根据光源周围环境亮度、音响、时间等物理量的变化而实现的自动调节。自动照明控制应用很广，当人们走近黑暗的场所，灯光自动点亮，经一定延时后自动调暗、自动关闭；舞台灯光、喷泉彩灯，随着声乐的起伏而忽明忽暗，红绿交映；为保证某一区域的照度恒定，一组灯光自动地明暗调整；路灯、航标灯、畜牧场照明灯昼关夜开，都可以用自动控制的方式实现。（见光电照明控制、音频照明控制、定时照明控制）

用于照明控制的微波扫描、电容式近距感应等是在半自动照明控制的基础上增加相应的传感器和具有比较、分析功能的电子控制线路实现的（如图 14 所示）。传感器把感知的信号转换为电信号，经电子控制线路比较、分析、处理后，驱动主开关来调节光源的亮度或颜色。

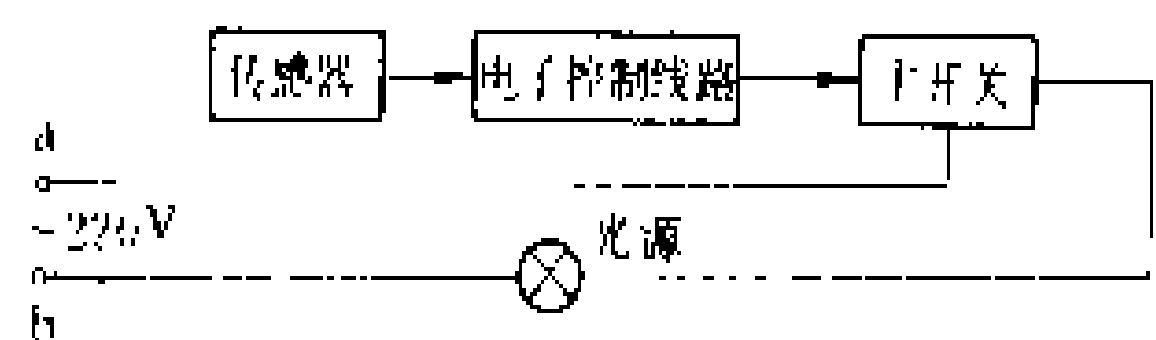


图 14 照明自控原理框图

微波扫描开关、电容式近距感应开关，体温感知开关，加上光控功能，用于住宅楼道、走廊、厕所、门厅等，可实现全自动延时照明控制。

利用气敏、磁力、温度、湿度、压力等物理量和液位，位移、障碍等状态量都可实现自动照明控制，这些控制多用于特殊场所的警告性或标志性照明。

停电自锁照明控制，应急照明控制，智能照明控制也都是自动照明控制方式。

停电自锁照明控制也称二次开关，当光源在开启状态，发生了断电现象，通电后，由于二次开关作用，光源则处于熄灭状态。使用二次开关可自动消除因停电忘记关灯，而来电后灯光长明的现象，即安全又节电。应急照明也称为不间断照明。当正常供电电源因故停电时，备用的应急电源立即向光源供电，保持光源的点亮状态。应急照明控制现已为宾馆、饭店、商店、礼堂、影剧院必不可少的照明自控设施；以微型蓄电池和充电器构成的小型自动应急开关或应急灯泡将为办公

室、起居室应急照明提供良好的条件。

智能照明控制也称为模糊照明控制，是一种具有记忆、分析、判断及综合处理功能的高级自动照明控制系统。一般由光敏、音频、红外、微波等多种传感器、计算机（或微电脑）及开关、调光、频闪、旋转、变色等多功能控制器组成，如图 15 所示。由各路传感器接收各种物理量或状态量的随机状态，转换成电信号传送给微电脑进行存贮、分析、判断、分析结果经放大器放大后驱动各路控制器，对相应的光源进行控制；还可由计算机给出随机控制信号，通过控制器产生一种千变万化而无规律可循的特技照明效果。这种控制系统多用于恒照度、舞台、歌舞厅、宴会厅、电视台演播室、摄影、摄像等场所，以实现人工照明控制所不能满足的艺术效果。

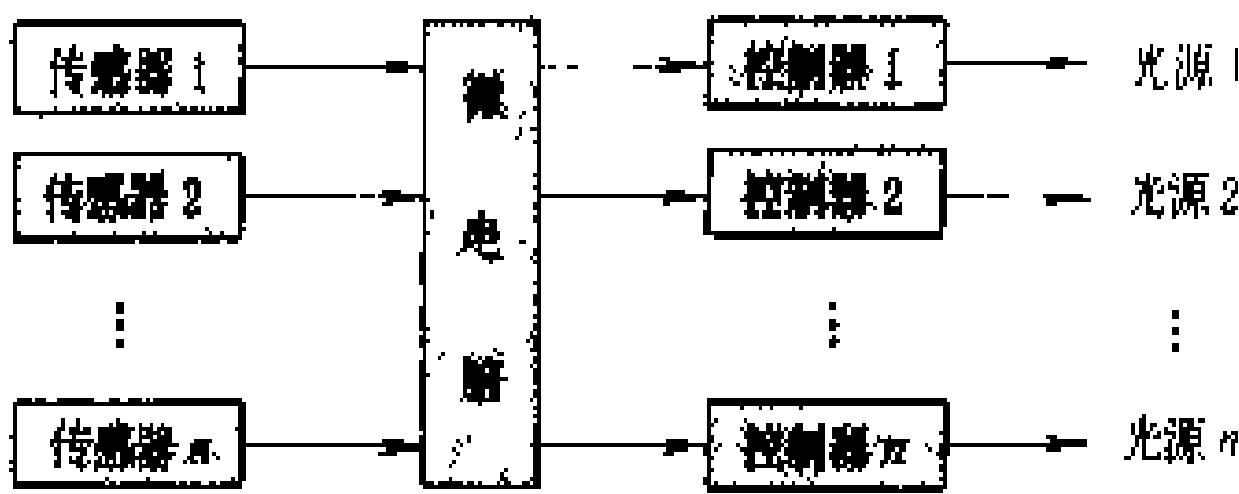


图 15 智能照明控制原理框图

随着电子技术的飞速发展和人们物质文化生活水准要求的不断提高，美观华丽、节电延寿、全自动、高智能的照明控制开关将会得到高速发展和广泛应用。

（高汉卿）

zhaomingqi

照明器（luminaire; light fitting）由光源和控照器组成的一种照明器件，又称灯具。照明器的基本功能有：

- （1）改变光源光通量的空间分布，使光源光通量重新分配到人们需要的范围内；
- （2）保护视觉，防止或减轻高亮度光源产生的眩光；
- （3）固定和保护光源，并将灯与电源相连；
- （4）美化和装饰环境，通过照明器的优美造型和合适的外观颜色来满足人们的审美要求。

评价照明器质量，除满足使用功能要求之外，还有许多技术参数，其中一个重要指标就是灯具效率。照明器的灯具效率 η 为照明器射向周围空间的光通量和照明器中光源发出光通量之比。照明器的光源所发出的光通量，一部分被照明器吸收，一部分射向周围空间，所以照明器效率绝大部分都小于 1。各种照明器的效率既可用计算方法计算，也可用仪器进行测量，通常可在照明器生产厂的样本中查到。

分类 照明器的种类繁多，按配光分类就是以光

通量在空间的分布为依据所做的分类。按国际照明委员会 (CIE) 的建议, 建筑照明器可分为表中所示的五类, 即直接、半直接、均匀漫射 (直接-间接)、半间接和间接配光。其中直接配光照明器一般又分为图示窄配光、余弦配光、宽配光和均匀配光四类。道路照明器, 按水平面的配光形状可分为全向配光和双向配光两类; 按限制眩光的程度可分为截光、半截光和非截光三类。

建筑照明器分类表

类 别	照明器光通量在空间的分布	
	上 半 球	下 半 球
直 接	0~10%	90%~100%
半 直 接	10%~40%	60%~90%
均匀漫散	40%~60%	40%~60%
半 间 接	60%~90%	10%~40%
间 接	90%~100%	0~10%

根据国际电工委员会 (IEC) 的建议, 认为照明器除了“按对电击的保护程度”和“按对水或异物侵入的保护程度”分类外无其他分类。

IEC 按照照明器抗电击程度的分类, 被认为是近年来确定的重要分类, 一共可分为四级:

0 级照明器: 不需要接地保护的照明器;

I 级照明器: 需接地保护的照明器;

II 级照明器: 不接地, 它是在一般的绝缘上, 再加一附加绝缘, 又称双重绝缘灯具或外层绝缘照明器。

III 级照明器: 供电为交流电 30 V 以下, 直流电 45 V 以下, 对人接触带电部件无电击危险的灯具 (照明器)。

IEC 按对水或异物侵入的保护程度将防水照明器分为防漏型、防雨型、防溅型、防喷射型、耐水型、防浸型、水中型、防湿型等八类, 总称防水型; 将防止异物侵入照明器分为“防尘型”和“耐尘型”两类。IEC 对按一定大小的球和杆、人的手、线、粉尘等的保护程度的分类, 因名称不明确, 而尚未细分。

IEC 也认为, 对有煤气、蒸汽或其他腐蚀气体等场所使用的照明器, 按其保护结构进行照明器分类, 主要可分为耐压型、增加安全型和耐盐型等。

照明器除了按 IEC 和 CIE 的分类外, 还有按光

源、照明器形状、材料、使用场所、使用目的、安装手段、安装状态等进行的分类。

常用照明器 以下几种照明器在建筑中应用比较广泛:

(1) 吊装式照明器。安装于建筑物上用软线、链子、各种管线等吊装的照明器。

(2) 枝型照明器, 也称花灯。同时布置多个光源和多个透射或折射的小型透明体, 利用折射光、反射光或间接光等创造出华丽气氛的吊装式照明器。中国古代的宫殿照明和欧洲中世纪的宫廷照明中, 是在枝形照明器上插上蜡烛或设置油灯, 现在经常使用仿蜡烛的小灯泡作这种照明器的光源, 创造出豪华的感觉, 以满足人们的艺术享受和审美要求。

(3) 吸顶式照明器。直接安装在室内顶棚上的照明器。

(4) 嵌装式照明器。将照明器的全部或一部分凹进暗装在建筑物顶棚或墙上的照明器。

(5) 空调式照明器。与空调系统组合使用而特别设计的照明器。

(6) 墙壁照明器, 也称壁灯。安装在墙上的照明器。

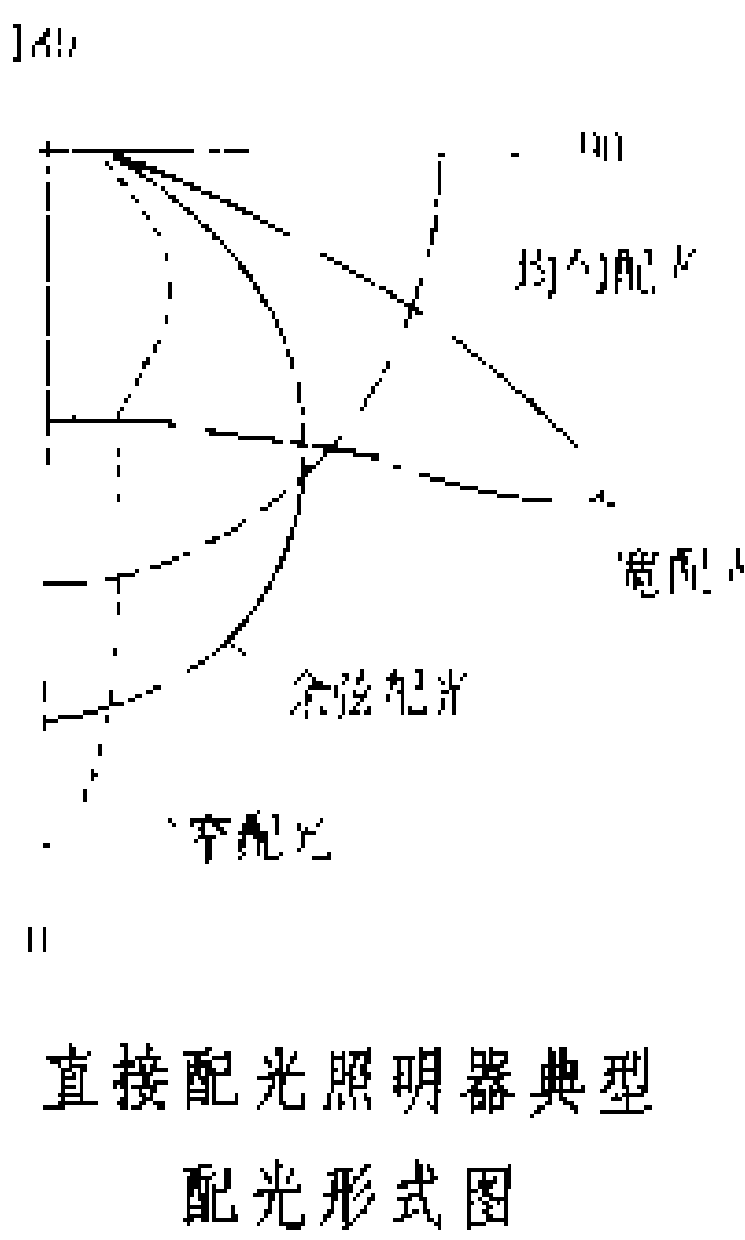
(7) 立式照明器, 又称落地灯。竖立在地面上, 应用高支柱固定, 可移动的照明器。

(8) 台式照明器, 又称台灯。放在家具或桌子上面, 应用低支柱固定、可移动的照明器。

(9) 事故照明器。发生火灾等灾害而停电时, 为了抑制由于黑暗引起的心理紧张感, 照明避难路线, 从常用电源自动切换到备用电源, 持续点灯的一种照明器。这种照明器按安全法规要求, 在停电时利用电源点灯, 在 30 min 内照度保持 1 lx (荧光灯为 2 lx) 以上。

(10) 出入口照明器, 又称疏散导向照明器。发生火灾等灾害面停电时, 从常用电源自动切换到备用电源点灯, 以示出入口位置的照明器。

(肖辉乾)



zhenkong dianhulu

真空电弧炉 (vacuum arc furnace) 在真空中熔炼金属的直接电弧炉 (见电弧加热)。

真空电弧炉按电极类型主要分自耗炉和非自耗炉两大类。工业上用的主要是自耗炉。

自耗炉的电极由被熔炼材料本身制成, 叫自耗电极。在熔炼过程中, 电极端头逐渐被熔化, 滴入坩埚中, 电极本身不断自耗。真空自耗电弧炉主要用于重熔钛、锆、钼、钽、铌等活泼金属和难熔金属的坯料以制取铸锭, 如把海绵钛电极重熔成钛锭。这种电弧炉也可用于精炼合金钢和制取大直径优质钢锭, 如用于制造发电机轴和轧辊等的锻坯。

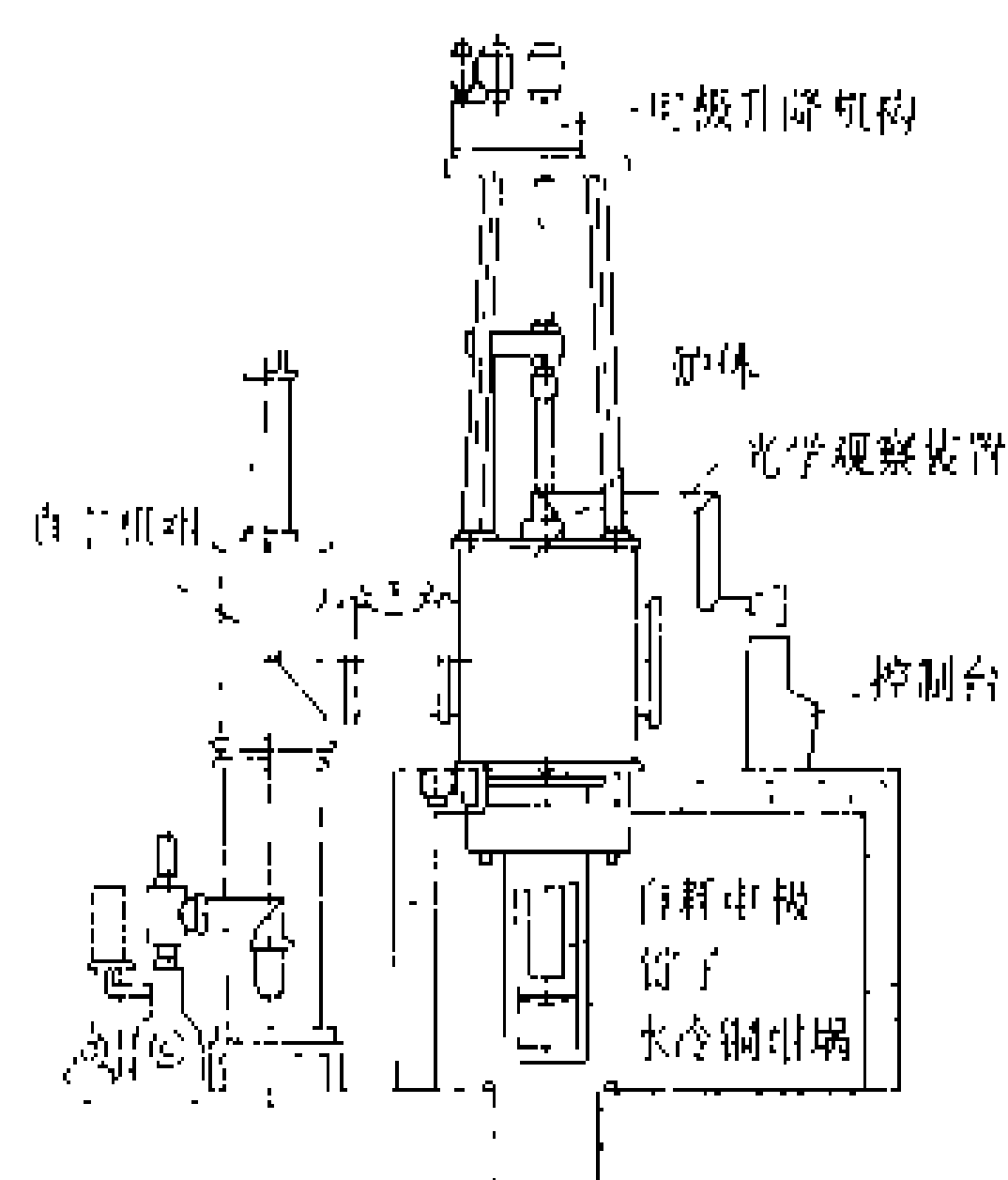


非自耗炉的电极用钨等高熔点材料制成。工作中电极本身不消耗,炉料需用别的途径加入炉内。这种电弧炉主要用于在真空中浇制上述材料的异型铸件和在实验室中制取试验用坯锭。

也有同时采用自耗电极和非自耗电极的炉型,由自耗电极提供主炉料,由非自耗电极进行辅助加热。浇制铸件的炉子往往采用这样的炉型。

与炼钢电弧炉和埋弧炉等非真空电弧炉比较,真空电弧炉的特点是:①用直流电源供电(电极接负极、坩埚接正极),交流电弧在真空中不稳定,易熄灭;②电极和坩埚通常都用金属材料制成,炉内没有耐火材料炉衬;③熔炼中被熔炼金属能免受氧化和耐火材料的污染,并得到良好的脱气和促进金属氧化物分解的精炼效果;④对环境污染小,但若坩埚壁被电弧烧穿,冷却水进入炉内后可能会引起爆炸。

设备 以真空自耗电弧炉为例说明如下。成套设备由炉体、水冷铜坩埚、真空机组、光学观察装置、控制系统、直流电源等部分组成,如图所示。



真空自耗电弧炉结构简图

炉体由炉壳、上下端盖、电极杆及其升降机构、炉架等组成。电极杆与上端盖间有滑动密封装置,杆的下端接自耗电极、上端连升降机构。炉体下端接坩埚。

坩埚通常做成圆筒形,分内外两层,分别用铜和不锈钢制造,中间可通水冷却。熔炼时,金属熔滴滴入坩埚后先形成熔池,然后逐渐冷凝固结成锭子。因此这种坩埚又叫水冷铜结晶器。还有一种坩埚呈半球形,有浇注口,可倾倒。熔炼时,其内面会结上一层由被熔金属本身冷凝成的壳体。采用这种坩埚的炉子用来在真空中浇制铸件,又叫凝壳炉或壳式真空电弧熔铸炉。

真空机组通常以罗茨泵或油增压泵为主,配以前级机械泵。从熔炼工艺和安全要求出发,真空机组应能保证炉内工作压力不致超过 10 Pa (通常在 0.1~1 Pa 范围内)。

光学观察装置用来观察炉内的熔炼过程。也有采用工业电视系统的。

控制系统中主要是电极自动调节器,用来控制电弧长度使电弧功率和熔化过程稳定(见电弧炉电极自动调节器)。采用计算机过程控制系统,一个人可管理几台炉子。

直流电源现多采用硅整流装置,工作电压 20~40 V,空载电压约为 80 V,工作电流每 100 mm (直径) 结晶器为 1600~3500 A,电流可作大范围(约 10:1)调节。电源应具有恒流特性(见弧焊电源),短路电流应不超过额定电流的 1.2 倍。自耗炉的熔化电耗在 500~1300 kW·h/t 范围内。

安全 真空电弧炉工作中,特别当熔炼钛、锆等活泼金属时,如冷却水进入坩埚,会引起爆炸。防范措施有:①电极与坩埚壁间的净空距离应大于电弧长度、在坩埚外侧设置直流稳弧线圈、供电电缆作对称布置、电极自动调节器应足够灵敏等,以防止电极与坩埚壁之间产生边弧把坩埚击穿;②确保冷却水畅通;③设置防护墙,操作人员在墙外观察操纵等。

历史和发展 真空电弧炉是在二次世界大战后因钛生产的需要而发展起来的,1950 年首先在美国得到工业应用,至今仍是熔炼钛、锆、钼等金属的主要设备。20 世纪 50 年代中期由于导弹生产的需要,真空电弧炉开始用于高级合金钢和高温合金的重熔,炉子最大容量到 54 t。但其后由于钢包精炼炉和电渣重熔炉等的发展和竞争,真空电弧炉在炼钢方面的应用已较少。

中国于 20 世纪 60 年代制成 25 kg 和 1000 kg 真空自耗炉,现有可熔铸重 15 t 钛锭的自耗炉和铸件重达 1 t 的壳式真空电弧熔铸炉等。

参考书目

Г. В. Самохвалов, Электрические печи черной металлургии, Металлургия, 1984

(邓廷佐 蒋聪吉)

zhenkong dianzulu

真空电阻炉 (vacuum resistance furnace)

炉料在真空中加热的电阻炉。真空是压力低于一个大气压的气体状态。气体稀薄的程度叫真空度。真空度的高低用压力表示,其国际制单位是 Pa。真空度愈高,压力愈低。真空电阻炉具有密闭的真空腔,工作时真空机组把真空腔内的空气抽出,使炉料得以在真空中加热。

用真空电阻炉加热和处理炉料具有以下优点:①可保护炉料免受氧化和脱碳,并能除去金属表面的污垢,以达到光亮处理的目的;②可减少炉料中的气体含

量(即所谓真空除气),并且通过炉料内部的化学反应可除去炉料中的某些杂质,如碳、氧化物等;③热应力小,工件加热后变形小;④加入渗碳气体可用于渗碳,与非真空气体渗碳炉比,渗碳时间短,对环境污染少;⑤可达到一般电阻炉达不到的高温;⑥某些材料,如活泼金属,只能在真空电阻炉中加热处理。但真空电阻炉的设备投资比较大,限于结构,生产率比较低,炉腔尺寸不能太大。

分类和用途 真空电阻炉按其工作真空度可分为低真空炉(真空度 $10^5\sim10^2$ Pa),中真空炉($10^2\sim10^{-1}$

Pa)、高真空炉($10^{-1}\sim10^{-3}$ Pa)、超高真空炉($<10^{-5}$ Pa)四类。工业以中真空电阻炉用得最多。按加热方式可分为外热型和内热型两类。外热型真空电阻炉具有炉罐,电热元件和炉衬位于炉罐之外,炉料放于炉罐之内,通常只把炉罐内部抽成真空。内热型真空电阻炉没有炉罐,电热元件、炉衬和炉料同处于真空中。内热型真空电阻炉按炉料加热后的冷却方式可分为自冷、气冷、油冷等几种型式,油冷真空电阻炉常同时配有冷用风机。

各类真空电阻炉的特点和用途见表。

各类真空电阻炉的特点和用途

分 类		特 点	主 要 用 途
外热型 (又称热壁型)		①真空腔体积小,较易抽真空;②炉衬和电热元件与普通电阻炉相同,材料费用低,结构较简单;③受炉罐材料热强度的限制,工作空间小,工作温度一般在 800℃ 以下	适用于炉温低、真空度要求高的场合,如真空除气、真空钎焊、真空渗金属等
内热型 (又称冷壁型)	自冷式	①加热和冷却的速度比外热型快,气冷和油冷式炉的冷却速度尤其快;②可以制造成大型炉或高温炉;③加热元件和炉衬在真空中工作,材料费用较高,炉内结构较复杂;④抽真空比外热型较困难	难熔金属、活泼金属、磁性材料的退火,不锈钢的钎焊,真空除气,某些材料的真空烧结等
	气冷式		高速钢、模具钢、马氏体不锈钢等气冷淬火钢的淬火处理等
	油冷式		低合金钢、合金工具钢、轴承钢等和油冷淬火钢的淬火处理,真空渗碳等

设备组成 真空电阻炉主要由炉体、真空机组、电源和控制系统等部分组成。

炉体 主要由炉壳、炉衬和加热元件组成。结构上有卧式和立式两种,两者根据炉室多少又有单室、双室、多室之分。单室炉用于间歇作业,双室或多室炉则可在不破坏加热室真空的情况下进料或出料、作业率高。

外热型真空电阻炉的炉体结构示于图 1。它的炉衬和电热元件与普通电阻炉的一样。炉罐用不锈钢或耐热钢制造。炉子的工作温度取决于炉罐的热强度。为提高工作温度,有时把炉罐外也抽成低真空。

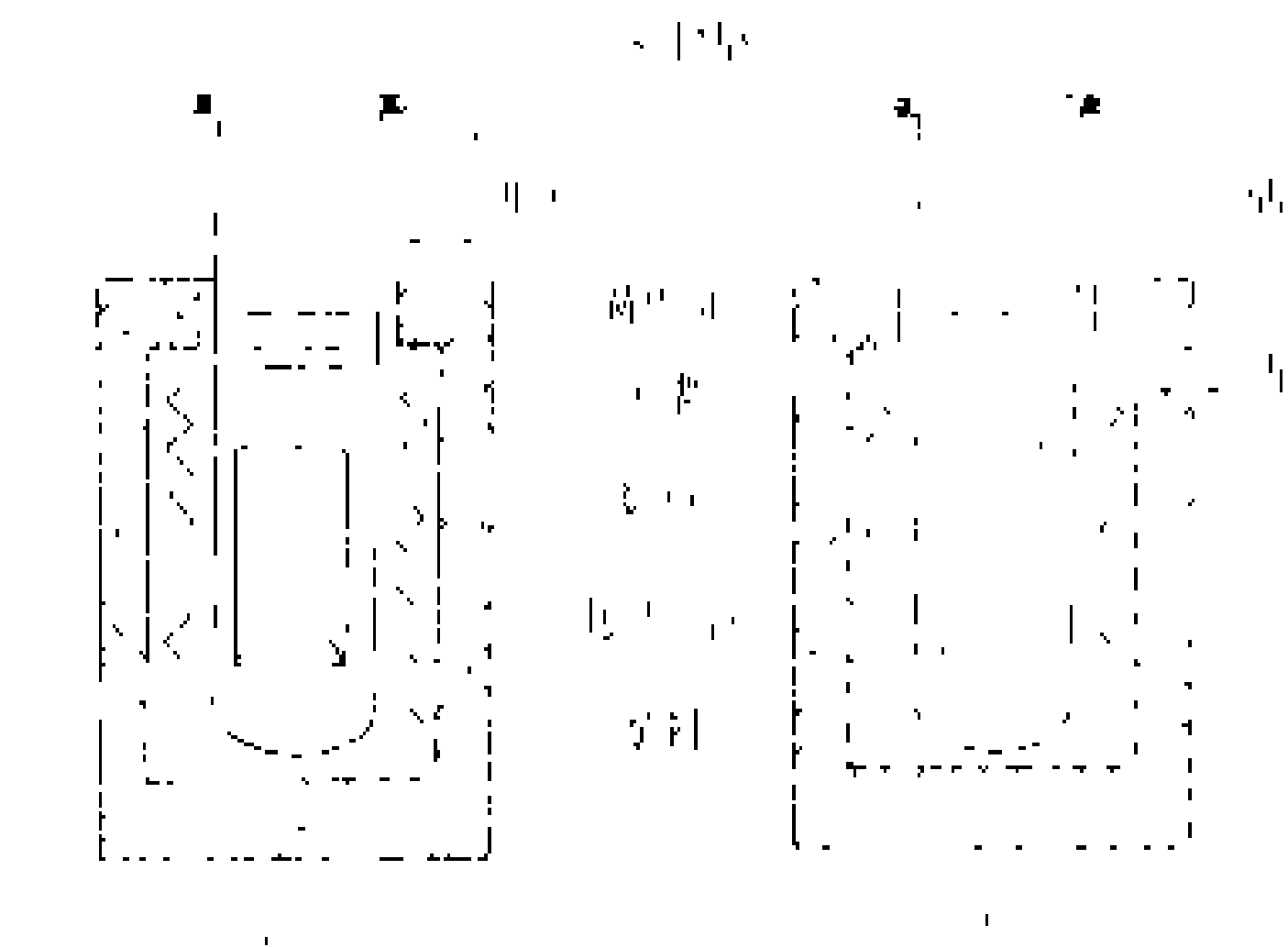


图 1 外热型真空炉体结构示意图

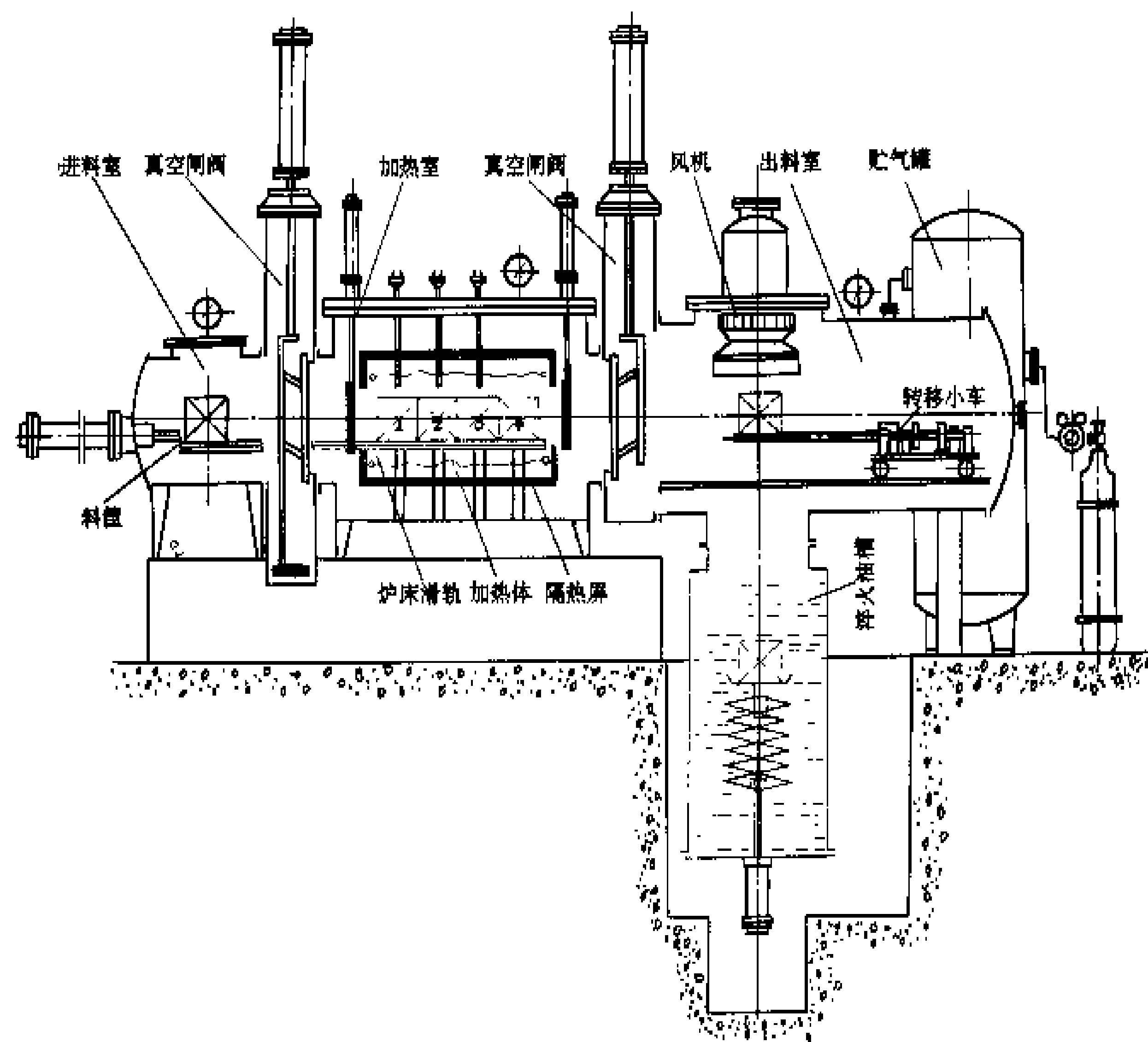
(a) 只把炉罐内抽成真空; (b) 炉罐外也抽成低真空

内热型真空电阻炉的炉体结构可参见彩图插页第 9 页 31 图。炉壳通常是双层圆筒形水冷结构。炉壳上设有抽气接管,电热元件、热电偶、真空计等引出孔。炉衬和电热元件都位于真空腔内。为了不使炉子的抽气时间过长,炉衬的含气量要少且易于除气。因此炉衬通常由多层(5~6 层)金属屏、耐火纤维毡、碳毡、石墨毡等制成。电热元件材料根据炉温和真空度选择,炉温在 1150℃ 以下的低、中真空炉可用镍铬合金,温度和真空度再高时要用钼、钨、钽或石墨。为了满足不同热处理工艺对被加热工件冷却速度的要求,内热型真空炉分自冷、气冷、油冷等多种型式。

自冷式真空电阻炉的炉体结构最简单。在这种炉内,炉料加热后随炉子自然冷却。由于真空中热传导和热对流都很弱,炉料冷却时间长,生产率低。

气冷式炉炉体的基本结构参见彩图插页第 11 页 37 图。从该彩图中可以看出,炉料是在加热室内冷却的。也有炉料在加热后移动到冷却室中冷却的双室结构。炉料加热后,向炉内充入高纯氮气或惰性气体,并开动风机进行强迫循环冷却。为了实现气淬,有时往炉内充入高压(如 5×10^5 Pa) 气体或采用高流量循环系统。由于加强了对流传热,在 1 h 内可使炉料的温度从加热温度下降到出料温度(约 150℃)。

的真空熔炼炉。20 世纪 20 年代末随着电真空技术的发展出现了真空热处理工艺,当时只限于退火和除气。



1945 年真空处理用电阻炉首次用于生产。60 年代以来, 由于宇航和电子计算机工业等的迫切需要, 美国海斯 (Hayes) 公司首先研制出气冷和油冷式真空淬火炉。到 70 年代, 石墨材料的成功应用使真空电阻炉有了很大发展, 其应用范围扩大到一般的机械零件热处理。真空电阻炉作为先进的热处理设备, 其优点已得到公认。在工业发达国家, 真空电阻炉占工业电阻炉总产量之比由 1980 年的 3% 猛增到 1990 年的约 20%, 据推测到 20 世纪末将达到约 23%。真空电阻炉正向扩大应用范围、大型化、高度自动化、高生产率的半连续式和连续式的方向发展。

展。炉子的技术性能也在不断提高。

(高升 蒋聪吉)

zhenkong qanying shaojielu

粉末冶金件，即用粉末冶金方法压制成的机械零件、电器零件、磁件、硬质合金件、高温合金件、难熔金属件等的坯件，主要用控制气氛电阻炉和真空电阻炉烧结。但在烧结温度高的场合（1500~2400℃）也用真空感应烧结炉烧结，特别在刀具行业。

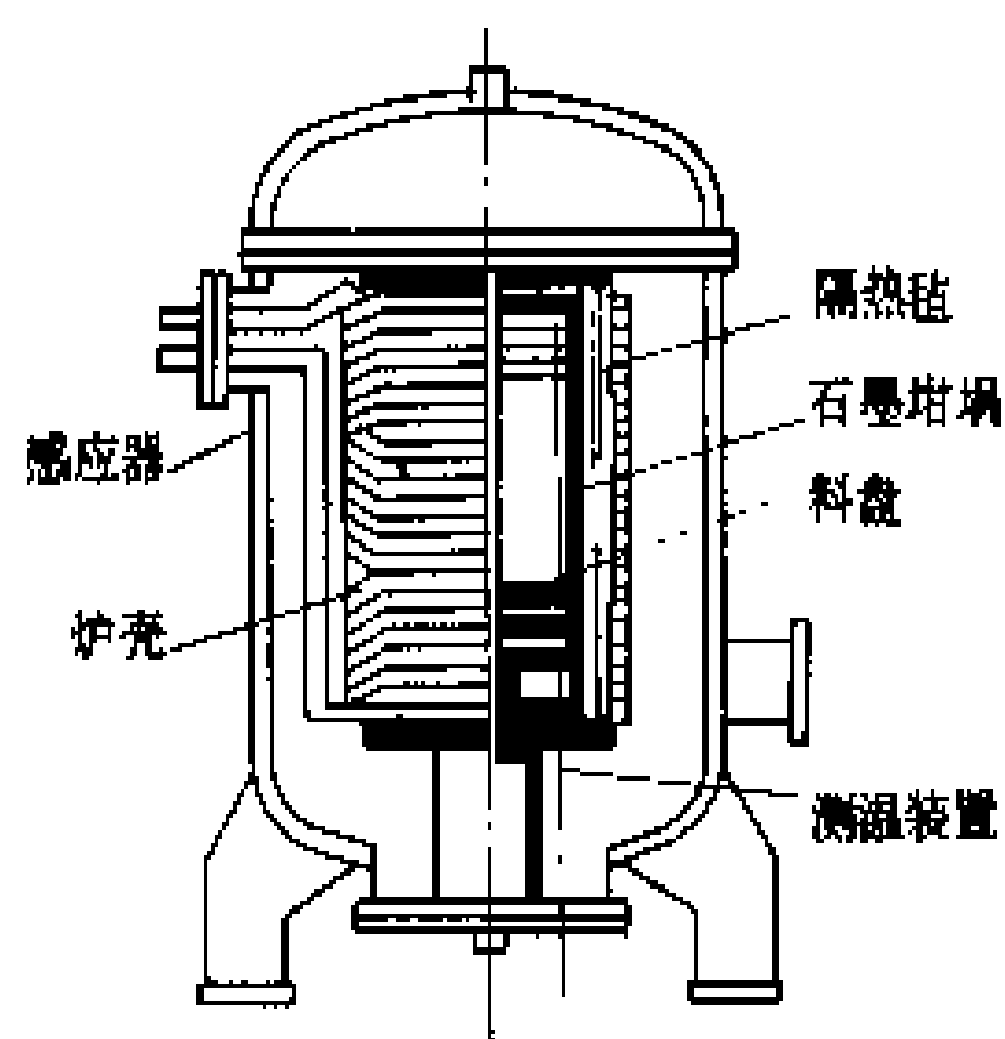
与多数感应炉不同的是,这种炉子采用间接感应加热,即热能在石墨筒壁中产生,工件所受到的是石墨筒的辐射热。设计中要使石墨筒内部的磁场强度尽可能小,以避免工件中产生感应电流,使锐棱、尖角部分

过热。采取的措施是采用较高频率（一般不小于 8000 Hz）的电源，并使石墨筒的壁厚比石墨的电流透入深度大得多。

为减少热损失并使工件加热均匀可采取以下措施：石墨筒的四周、上下要用绝

热材料（如碳毡）很好绝热；感应器的功率分布，中段小，上、下两段大；石墨筒尺寸不能太大，一般（内径×高）为（150~300）mm ×（200~500）

mm。为避免炉内真空放电，电源电压限制在 200~300 V。



井式真空感应烧结炉
炉体结构

（汤景明 蒋聪吉）

zhenkong xichenqi

真空吸尘器（vacuum cleaner）利用电动机驱动风机而产生负压进行除尘的清洁器具，简称吸尘器（见家用电器）。真空吸尘器工作时不会使灰尘飞扬，并能吸除缝隙中及地毯上一般不易清除的尘屑，使用方便、卫生，广泛用于家庭和公共场所。

简史 1869 年，美国 I. W. 麦加夫南（Ives W. McGaffney）发明使用人工操作的带有吸附装置的扫除机。1899 年，J. 苏门（John Thurman）发明世界上第一台电动吸尘器。1907 年，J. M. 斯潘格勒（J. Murray Spangler）发明带有风机、旋转刷和集尘袋的移动式真空吸尘器，这是现代吸尘器的雏型。从此以后，吸尘器得到迅速发展，到 1977 年，美国吸尘器的普及率已达到 99.9%。中国于 1960 年在上海制出了吸尘器并开始生产，1988 年产量约 180 万台，并开始进入家庭使用。吸尘器的发展趋势是向高风量、高真空、提高单位体积的集尘量、降低噪声、一机多用和操作自动化方向发展。

结构和工作原理 主要由起尘、吸尘、滤尘三部分组成，一般包括串励整流子电动机、离心式风机、滤尘器（袋）和吸尘附件。串励整流子电动机转速高达 20000 r/min 以上（微型吸尘器采用微型永磁式直流电动机，额定电压为 3~6 V）。滤尘器通常采用滤网、绒布或滤纸等材料。一般吸尘器的功率为 400~1000 W 或更高，便携式吸尘器的功率一般为 250 W 及以下。

电动机高速驱动风机叶轮旋转，使空气高速排出，

而风机前端吸尘部分内的空气不断地补充风机中的空气，致使吸尘部分内产生瞬时真空，和外界大气压形成了负压差，在此压差的作用下，吸入含尘屑的空气，经滤尘器过滤，排出清净的空气。负压差愈大，风量愈大，则吸尘能力也愈大。

分类 一般按吸尘器的装配和外形分为立式（电动机主轴垂直于地面者，见图 1）、卧式（电动机主轴平行于地面者，见图 2）和便携式三大类。便携式又可分为手持式、肩式、杆式等。欧美国家将卧式称为缸式或筒式。

也可按使用功能分为干式、湿式和干湿两用式。后两者还能吸取液体或多水性泡沫污物，其结构比干式复杂些。

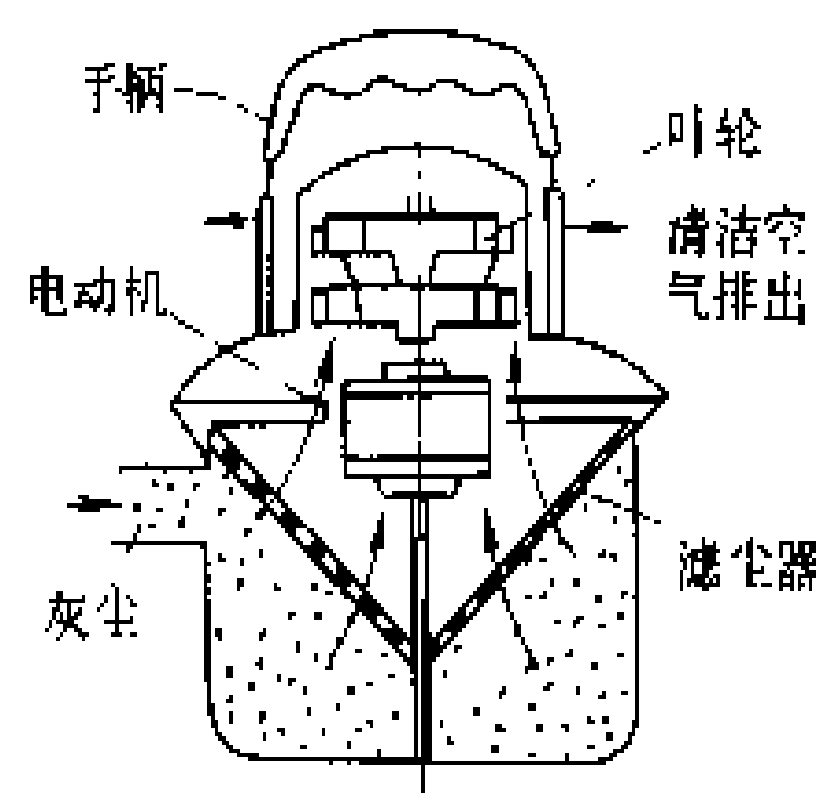


图 1 立式吸尘器结构示意图

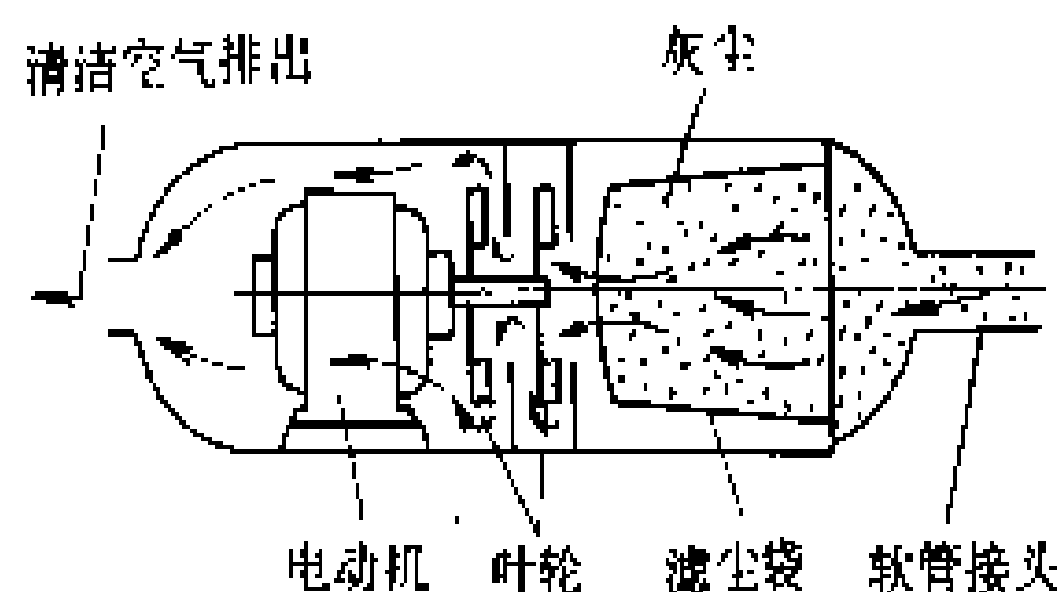


图 2 卧式吸尘器结构示意图

维护、保养好电动机是延长吸尘器寿命的关键，务必使吸尘器在工作时保持风道、过滤系统通风良好。要求做到：①不要用手去堵住吸尘器的吸入口，吸入口受堵时间过长，对吸尘器最为有害；②切不可在没有装上滤尘器及集尘袋的情况下进行吸尘工作，以免尘埃及脏物进入风机及电动机内；③滤尘器及集尘袋应经常清理干净，防止微孔堵塞、压损增大而影响吸尘效果；④不应吸集潮湿的泥土、泥浆、燃着的烟灰和金属碎屑及尖针；⑤长期运行后，电动机的电刷将被磨损，如磨损严重，应及时更换电刷。

（陈祖勤）

zhenduan yong X shexianji

诊断用 X 射线机（diagnostic X ray imaging devices）利用 X 线的穿透特性，在胶片或荧光屏上显示人体内部某些生理活动、病变及异物情况的电子诊断装置。

当高速运动的电子撞击各种物质（尤其是重金属）时会产生一定频率范围的电磁波，其波长约在 5Å 以下，这种射线即为 X 线。它通常是在高压电流通过热阴极电子射线管（Coolidge tube）产生的，它可穿透绝大多数物质且具有不同的穿透能力，它可使胶片感光，



可使一些荧光物质产生荧光。因此,可使X线透过人体在胶片或荧光屏上成像,藉以观察人体的内部情况。

X光机一般是由X线球管、观察床、控制台和成像装置等四部分构成。X线球管一般为热阳极真空管,阴极电流可产生大量电子,经过极间高压加速后撞击阳极钨靶,产生X线和大量热量。后者通过阳极的高速旋转及导热性良好的阳极柄散发。观察床是使被观察者处于特定的位置和姿态。控制台用来控制X线球管的电压和电流,以控制X线的穿透力和放射量。极间电压越高,X线波长越短,穿透能力也就越强;阴极电流越大,则电子数目增多,产生的X线也就多。另外,控制台还可控制观察床的空间位置、曝光时间等。透视装置的成像装置是可移动的荧光屏,用来观察不同部位。一般摄片机的成像装置仅仅是一个片盒。目前许多透视机上增加了影像增强器和电视系统以提高成像质量。

诊断用X射线机正在向胃肠检查床、儿科诊断床、乳腺摄片机、心血管诊断床等专业化方向发展。

(周 奕)

zhengliuqi xiebo

整流器谐波 (rectifier's harmonics) 整流器工作时产生的、引起电力网电流波形畸变的电流波。整流器是电力网的主要非正弦受电设备,即使电力网供电电压波形是理想的正弦波,由于整流器件的单向导电作用,在正、反相电压作用下,其电阻值完全不同,因而整流器从电力网取用的电流也是非正弦的。由于系统参数、整流器相数、接线方式和运行条件的不同,这种非正弦波形都有程度不同的畸变。畸变的电流波形可分解为基波及一系列不同频率和幅值的谐波。

当非正弦电流流经系统中的发电机、输电线、变压器等各种元件时,在元件上产生非正弦电压降,使系统中各点的电压波形也发生程度不同的畸变。畸变的电压反过来又对整流器从电力网中取用的电流波形产生影响。因而谐波电流和谐波电压是伴生且互相作用的。

整流器输出的直流电流和电压也不是理想的直流波形,而是可以分解为直流分量和一系列交流谐波分量的组合波。直流输出一般靠近负载,故其谐波的影响而很小。

电力网中的谐波电流不仅恶化电力网的电能质量,使整个电力网经济运行的效益受到一定损失,而且影响用户,干扰通信系统,为此应采用抑制谐波的措施以消除不良影响。

整流器的特征谐波和非特征谐波 整流器工作在理想情况下分析所得的各次谐波称为整流器的特征谐波。由于各晶闸管的门极触发脉冲电流不对称、或三相

电压不对称、或电压波形发生畸变、或三相电路参数不同等因素,均会产生特征谐波以外的其他次数的谐波,这类谐波统称为整流器的非特征谐波。

谐波的影响 主要有以下方面。

(1) 干扰通信系统:整流器的谐波电流对邻近的通信线路会产生电磁感应和分布电容耦合干扰,影响通信质量。

(2) 影响同步发电机:若同步发电机的主要负荷是整流器,则谐波电流会使定、转子,尤其是转子产生附加损耗和附加温升,从而降低同步发电机的额定输出功率。

(3) 影响异步电动机:若系统中的异步电动机与整流器并联运行,则整流器形成的谐波电压会使电动机功率因数下降,输出最大转矩减小,损耗增加。

(4) 影响电力电容器:电容器的电容量与频率成反比,故受谐波影响更为显著。谐波电压使介质损失系数 $\tan^{-1}\delta$ 增大,加速电容器介质老化;谐波电流使电容器的运行电流有效值增大,特别处于谐振时,常使电容器过负荷或过电压并超过允许的温升,甚至造成无法运行的事故。

(5) 影响电力线路、开关、避雷器:谐波电压使电力线路绝缘加速老化,泄漏电流增大。当发生串联谐振时,可能引起放电并击穿电缆。某些用于高压配电的开关,其灭弧机构不能遮断超过50%波形畸变率的故障电流,能导致开关损坏。谐波过电压可使避雷器放电时间过长而损坏。

(6) 影响变压器:谐波电压使变压器励磁电流增大,温度升高,效率降低,功率因数恶化。

(7) 影响电能计量:感应式有功和无功电能表是按工频设计的。其读数反应谐波量的功率不足,从而造成误差。在不同的电压与电流相位差的情况下,频率越高相对误差越大,而且均为负误差。

(8) 影响继电保护和自动装置:高次谐波是影响可控整流器本身稳定工作的因素之一。当谐波电压较高时,有可能使晶体管保护装置误动作或失灵,增加供电系统电压自动调节系统的误差。负序系统的高次谐波电流对具有负序电流滤波器的继电保护装置有明显的助增作用,以致引起误动作。高次谐波电流还会恶化甚至破坏利用电力线路作远动装置联系通道的正常工作,对音频控制系统也有影响。

抑制和消除谐波 世界各国都有限制谐波的标准或规定,要求将谐波发生源注入电力网的谐波含量控制在允许的范围内。抑制和消除谐波一般有增加整流相数、合理配置系统参数、设置滤波装置等措施。

(1) 增加整流相数:该措施可以基本消除幅值较大的低次谐波。可采用12相、24相等多相整流系统。这

些都是在 6 相的基础上,利用变压器的三相绕组,组成星形或三角形的不同组合,或采用移相绕组构成的。

(2)合理配置系统参数:增加系统短路容量对抑制谐波影响是有效的,然而往往难以实现。因而需要根据电力网情况,规定整流器的投入容量。考虑的原则是:①与系统(短路)容量之间的比例;②允许的电压畸变等。配置并联电容器时要注意防止谐波电流的放大作用。可控整流器会出现低次的非特征谐波,为了避免谐振,必须使系统在最低次谐波条件下仍呈感性阻抗。

(3)设置滤波装置:该装置可分为无源滤波装置和有源滤波装置两大类。无源滤波装置常采用与电力网并联的固定式单谐振 R-L-C 组成的滤波器,设定的串联谐振频率就是需要滤除的 n 次谐波,这样可形成低阻抗通道,起到抑制谐波电流放大的作用。根据需要还可设置不同次数谐波的滤波装置,也可以设计成兼作无功功率补偿的滤波装置。

有源滤波装置又称有源谐波抑制装置。这种装置是利用电力半导体器件将直流电流变换成任意波形的交流电流,其次数与

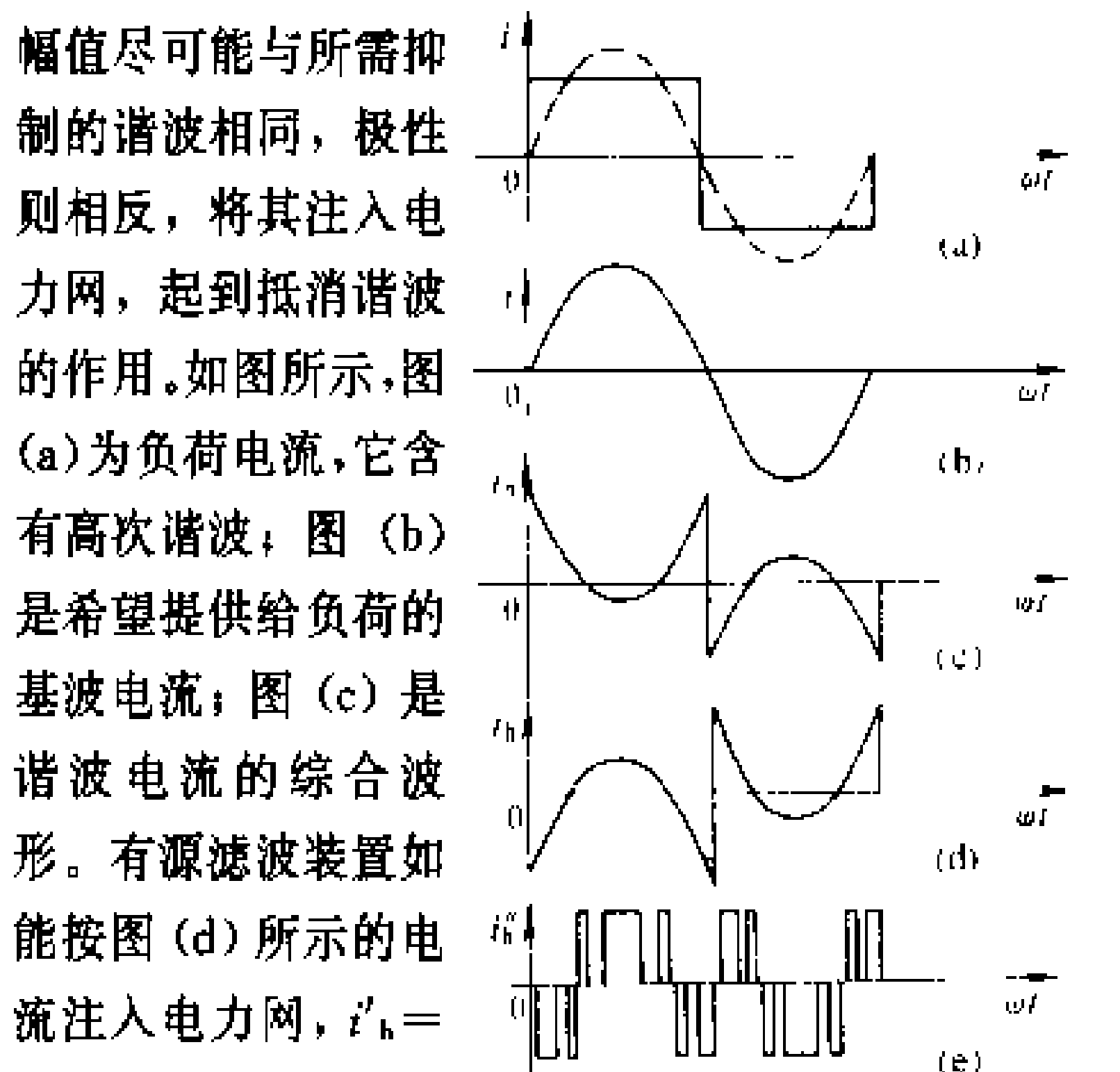


图 14-1 高次谐波电流抑制原理

幅值尽可能与所需抑制的谐波相同,极性则相反,将其注入电力网,起到抵消谐波的作用。如图所示,图(a)为负荷电流,它含有高次谐波;图(b)是希望提供给负荷的基波电流;图(c)是谐波电流的综合波形。有源滤波装置如能按图(d)所示的电流注入电力网, $i'_b = -i_b$,则可消除负荷

电流中的高次谐波分量。利用直流电流的脉冲宽度调制方法,见图(e),可产生 i'_b 波形。

(张永生)

zhishideng

指示灯 (indicator lamp) 用灯光监视电路和电气设备工作或位置状态的器件。指示灯通常用于反映电路的工作状态(有电或无电)、电气设备的工作状态(运行、停运或试验)和位置状态(闭合或断开)等。

指示灯由灯头、灯泡、灯罩和连接导线等组成,一般装设在高、低压配电装置的屏、盘、台、柜的面板上,某些低压电气设备、仪器的盘面上和其他比较醒目的

位置上。反映设备工作状态的指示灯,通常以红灯亮表示处于运行工作状态,绿灯亮表示处于停运状态,乳白色灯亮表示处于试验状态;反映设备位置状态的指示灯,通常以灯亮表示设备带电,灯灭表示设备失电;反映电路工作状态的指示灯,通常红灯亮表示带电,绿灯亮表示无电。为避免误判断,运行中要经常或定期检查灯泡的完好情况。

指示灯的额定工作电压有 220、110、48、36、24、6、3 V 等。受控制电路通过电流大小的限制,同时也为了延长灯泡的使用寿命,常采取在灯泡前加一限流电阻或用两只灯泡串联使用,以降低工作电压。

(李朝阳)

zhishi yibiao

指示仪表 (indicating meter) 在低压配电装置中用来显示被监测电路中的各种电气参数的仪表。

在低压配电装置中常用的指示仪表有电压表、电流表、功率表、功率因数表,频率表以及电能表等,一般为直读式仪表,其外形结构多为板式和槽形。这些仪表通常由测量机构(表头)和必要的辅助器件组成。测量时将仪表接入被测的电路中,通过仪表的测量机构把被测量转换为可动部分的机械偏转角,借助指针显示出被测电气量的数值。根据仪表的工作原理可将这些仪表分为:①磁电式仪表,主要用于测量直流电压、直流电流等。②电磁式仪表,主要用于测量交流电压、交流电流等。③电动式仪表,主要用于测量功率等。除此之外,还有整流式仪表、感应式仪表及静电式仪表等。

指示仪表的测量接线:欲测电流量需把电流表串联接于被测电路中;欲测电压量应把电压表与被测电路并联,即把电压表连接到被测电路的两端;功率表用来测量电路中通过的或负荷消耗的功率大小,功率与电压和电流两个量值有关,所以测量功率时功率表的电流线圈串联接于电路,电压线圈并联接于电路。当用配电装置指示仪表来测量高电压(大于 500 V)、强电流(大于 50 A)时,需借助于辅助设备和器件来扩大量程。如测量交流高电压时采用电压互感器,其一次侧并接于主电路,二次侧并接一块交流电压表;欲测交流大电流时,则把电流互感器一次侧串接于主电路,二次侧串接一块交流电流表;测量直流电压和电流时,则通过倍压器和分流器来改变量程。对采用辅助设备和器件改变量程后指示仪表测得的电气量值为一次主电路的量值。

低压配电装置指示仪表应满足以下基本技术要求:



(1)有足够的准确度。指示仪表按基本误差分为:0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 5.0 七个等级,基本误差等级愈小准确度愈高。低压配电装置指示仪表除计量仪表用 0.5 级外,其他仪表均可选用 1.0 级和 1.5 级。

(2)有相应的灵敏度。灵敏度是指仪表对被测量最小值的反应能力。仪表灵敏度过低,不能反应被测量的微小变化,灵敏度过高则仪表量限可能过小。

(3)仪表本身损耗应尽可能小。

(4)便于读数。一般用于测量直流的仪表为均匀标度,而测量交流用的仪表大多为不均匀量程标度,要求其刻度盘上工作部分宽度不应小于标尺全长的 85%。

(5)有良好的阻尼装置。为了便于迅速读数,一般阻尼时间应不超过 4 s。

(6)有足够的绝缘强度和过载能力。

(李朝阳)

zhijie dianzu jia re shebei

直接电阻加热设备 (direct resistance heating equipment)

对物料直接通电进行电阻加热的电热设备。在这类电热设备中,来自电源的电流直接流过被加热的物料,在物料中产生电阻热并使之加热。

与利用间接电阻加热的电炉(主要是间接电阻炉)比较,这类电热设备的特点是:①没有电热元件,加热温度不受其使用温度的限制,可用在加热温度高的场合;②物料的加热速度可以很快;③温度的精确控制较困难;④为保证加热均匀,对炉料的材质、形状、尺寸有严格限制,因此适用面窄;⑤一般用低电压大电流供电(见电炉变压器)。

这类电热设备主要有:石墨化电炉、碳化硅电炉、玻璃窑炉、垂直烧结炉、电接触加热器和电渣重熔炉等。

石墨化电炉 用来使碳素材料石墨化的电阻炉。工业上用的石墨化电炉如图 1 所示。炉体呈长方形,两

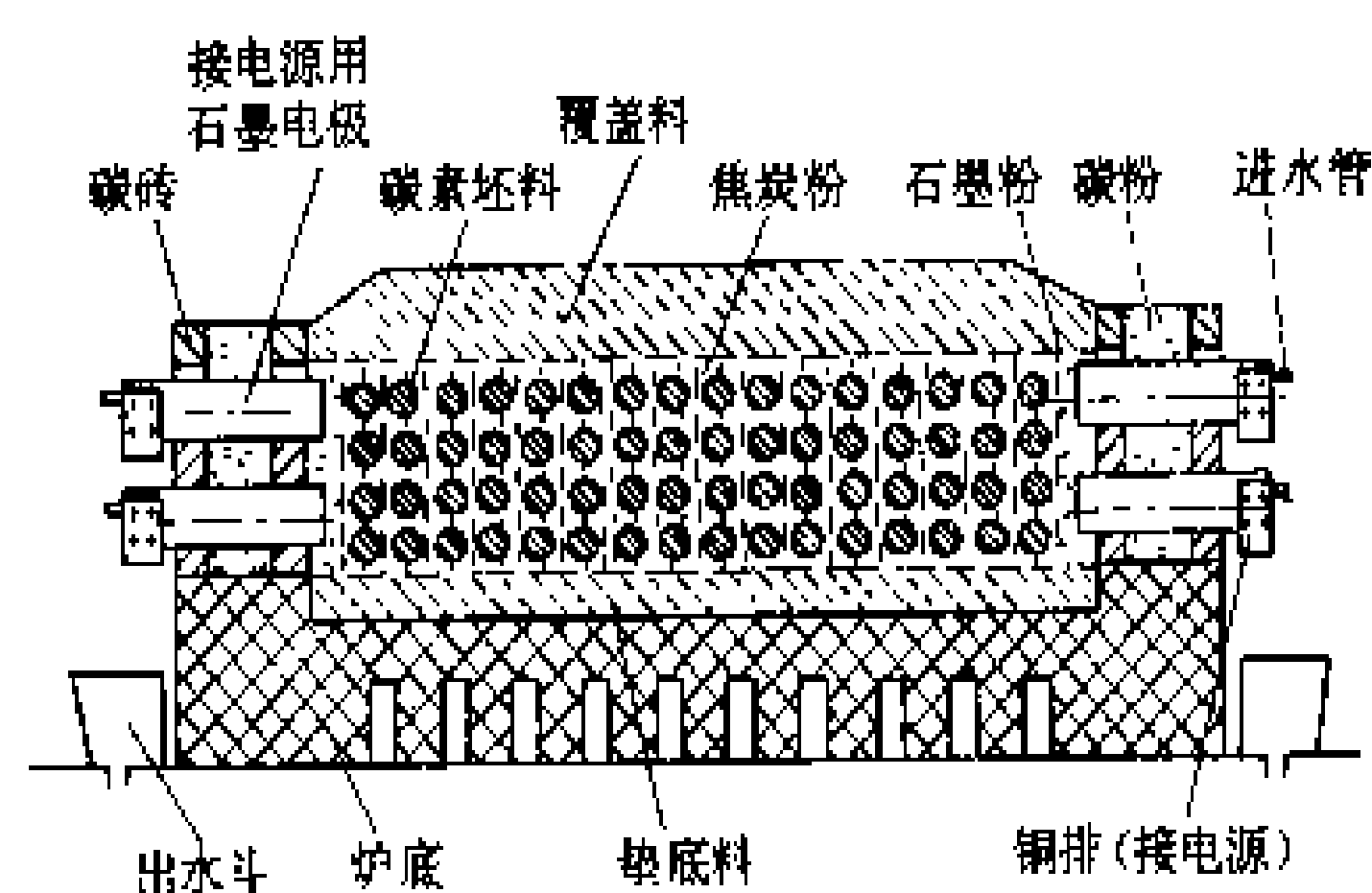


图 1 石墨化电炉示意图

端有端墙和连接电炉变压器用的石墨电极,炉长约 10~25 m,宽 1.5~3 m,碳素坯料装入量为 20~70 t,侧

墙有固定式和移动式两种,坯料均匀地排放在炉内,其轴线与电流方向垂直,坯料周围及上下空隙用焦炭粉填实,顶面用硅砂和焦炭粉的混合物覆盖,最高加热温度为 2600~3000℃,在高温下碳素坯料中的碳原子重新排列形成石墨结构的晶体,即所谓石墨化。炉子的运行是间歇式的,升温 and 冷却过程受到严格控制,通常一个周期历时约 20 天,其中通电加热时间约 3 天。因此,一台电炉变压器常配用 10 台左右的电炉。电炉是大功率(5000~30000 kW·A)单相负载,使用中要考虑多台电炉平行作业,或为每台电炉配置各相间电平衡装置。变压器二次电路的电抗大,通电末期功率因数显著降低,如图 2 所示,须加电容器补偿。电炉的电耗视电炉容量和制品石墨化程度在 10000~13000 kW·h/t 范围内。

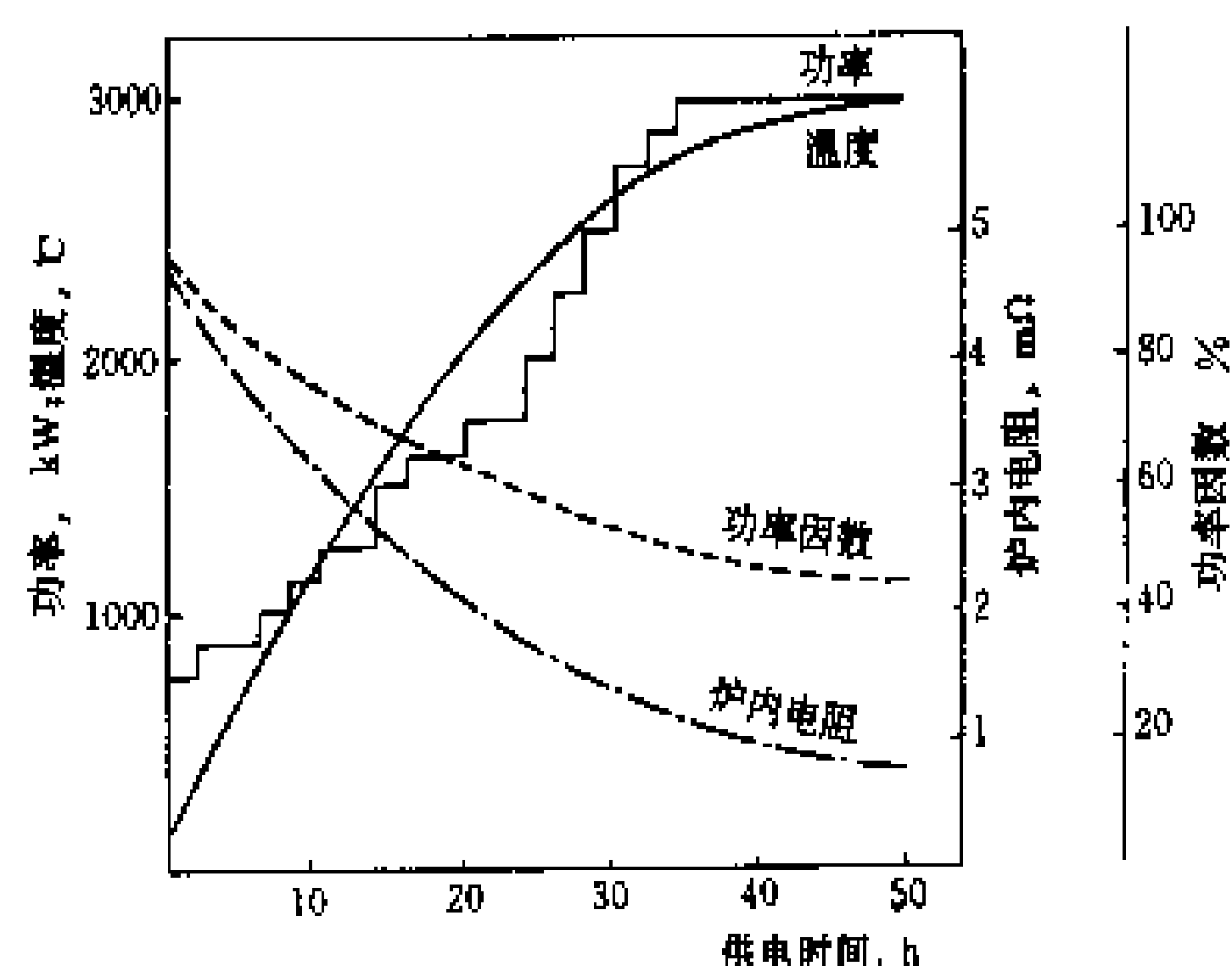
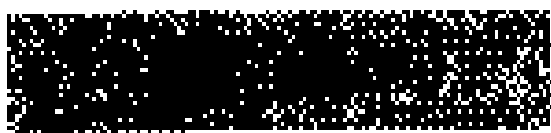


图 2 石墨化炉的通电时间与功率、温度、炉内电阻及功率因数的关系

这种电炉是美国 E. G. 艾奇逊 (Edward Goodrich Acheson) 于 19 世纪 90 年代发明的。主要用于生产炼钢电弧炉用的石墨电极。制品直径可达 1000 mm。

碳化硅电炉 又称金刚砂电炉,用来烧制碳化硅 (SiC)。炉体长为 7~20 m,宽 1.5~4 m。原料主要是石英砂和焦炭。由于原料电阻率高,炉料中心部位有一条用石墨或焦炭粒制成的贯通全长的炉芯,以提高开始通电时的输入功率。通电加热到 1500℃后,石英砂和焦炭开始反应生成碳化硅。加热温度为 1800~2200℃,加热时间 25~36 h。加热后炉料随炉冷却,总的工作周期为 5~7 天,其中加热时间 1~2 天。电炉的供电设施与石墨化电炉的基本相同。电炉变压器的容量为 2000~5000 kW·A。电耗为 7500~12000 kW·h/t。

玻璃窑炉 电加热玻璃窑炉如图 3 所示。电流由钨(或石墨)电极引入玻璃熔池,使之保持一定温度并熔化其面上的材料。与用燃料(煤气、柴油等)在上部加热的玻璃窑炉比,具有炉子结构较简单、热效率高、玻璃受沾污少、成分不挥发、易于调节、对环境污染



(废气、噪声等)少、劳动条件好等优点,但大型炉运行费用较高。

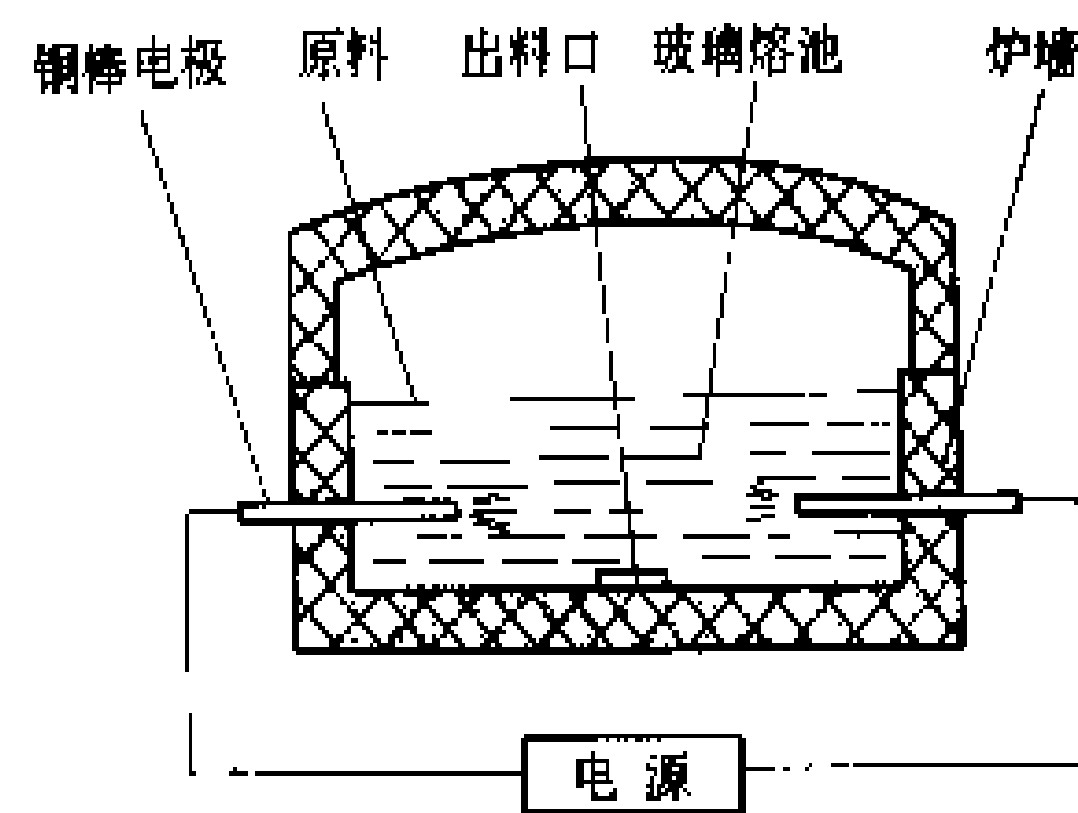


图 3 玻璃窑炉示意图

垂直烧结炉 又叫垂熔炉,用于钨、钼、铌等管、棒、粉末冶金坯件在真空或惰性气氛中的烧结。这是一种立式真空炉,管、棒坯件垂直地夹在炉内上下两个电极之间,电流直接通过坯件使之烧结。

电接触加热器 被加热的材料(钢管、钢棒、弹簧钢丝、电阻丝、铆钉、小截面锻坯等)通常在不加保护、不隔热的条件下(在大气中)夹在两个夹头之间,直接通电加热,有加热均匀、加热速度快、设备生产率高、材料表面氧化脱碳少等优点,但材料被加热部分的截面必须均匀。

(齐 钢 蒋晓吉)

zhiliu dadianliu celiang zhuangzhi

直流大电流测量装置 (high DC measuring device) 在电解槽系列生产中,在线的直流大电流测量装置所测得的参数是直接衡量电解槽电流效率的主要数据。电解直流电流一般在 1 kA 以上,最高可达 300 kA,正向 400 kA 迈进,数值可观。直流电流不能像交流电流那样利用简单的装置即可按比例变换电流值,大电流和不能变换电流值是直流大电流测量的难点。有多种测量槽电流的装置,但都存在一些问题,有的测量精度偏低,有的功率消耗偏大,有的结构复杂维护困难,有的稳定性差等。许多发达国家都在设法攻克这些难题,研制更先进的测量装置以满足电解工业日益发展的需要。

按工作原理直流大电流测量装置的分类如下表。

直流大电流 测量装置	直读式	分流器
		直流电流互感器
	霍尔变换器	
	核磁共振法直流测量装置	
	直流比较仪	霍尔检零零磁通比较仪 偶次谐波磁调制式直流比较仪 双向自饱和磁放大器式直流比较仪

直读式直流测量装置 包括分流器和直流电流互感器。

分流器 最早用于直流大电流测量的装置,是由锰镍铜合金片组成的串接在直流母线上的量具,两个电流端和两个电压端接至测量表计,从已知电阻上的电压降可测知电流值。其优点为结构简单可靠,不受外磁场影响,不需要辅助电源等。缺点是精度不可能太高,一般为 0.5 级;量程越大,体积及重量越大,精度下降;串接在直流母线中,安装、检修不便;有色金属消耗量大;功率损耗大。因此,分流器的使用受到限制,单个分流器一般仅用于 10 kA 以下的电流测量。

直流电流互感器 由德国 W. 克莱麦尔 (W. Kramer) 教授于 1936 年研制成功。图 1 为其原理图。两个磁特性相同的

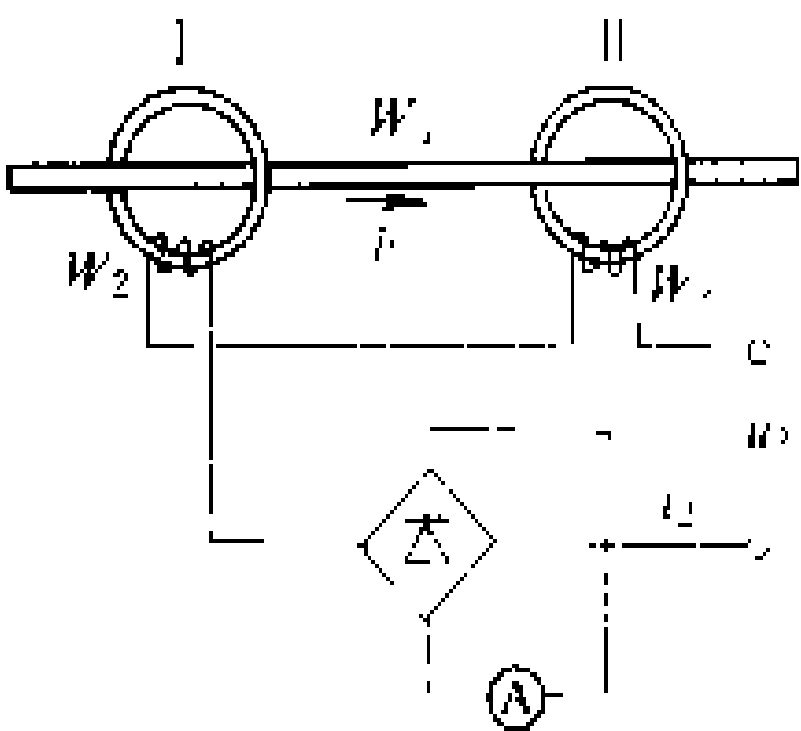


图 1 直流电流互感器原理图
I、II—铁芯;W₁、W₂——一、二次绕组;i₁、i₂——二次电流;A—直流电流表

的闭合铁芯安装在同一框架内,套在直流母线上。母线即为互感器的一次绕组,每个铁芯各有一个特性相同的二次绕组,反极性串联后接入辅助交流电路中,被测直流电流的变化,改变了交流电路的感抗,也改变了交流电路中电流的大小,从而间接地测出直流电流值。测量范围为 100 kA 以下。直流电流互感器损耗低于分流器,便于安装和检修。其缺点是体积大、笨重;功率损耗大,约为 200 V · A/kA,50 kA 时约为 10 kW,年耗电约 87600 kW · h;抗外磁场能力差;精度不高,负载在 50%~100%范围内时精度为 0.5%;线性度不好。为克服以上缺点,又研制出各种补偿式直流电流互感器,但只能略为改进其测量性能,量程可达 100 kA 以上。

霍尔变换器 磁场强度与电流有密切的关系。磁场强度矢量沿空间任一封闭轮廓线积分等于这一轮廓线限定面所穿过的电流,即

$$\oint H dl = I$$

可近似的表示为

$$\Sigma H \Delta l = \mu I$$

式中 H 为磁场强度;l 为封闭轮廓长度;μ 为磁导率,I 为电流。因此,可以利用电磁变换器测量电流,实用中多以霍尔变换器作为电磁变换器。

将多个(偶数)霍尔变换器对称排列以减少误差,放在套在直流母线上的铁芯气隙内。测量各个铁芯气隙内的磁感应强度,相加后即可得出被测直流大电流的数值。但这种装置的线性误差较大,温度差也较大,对装置的稳定运行有很大影响。图 2 为有 4 个霍尔变



换器的直流大电流测量装置的方框图。

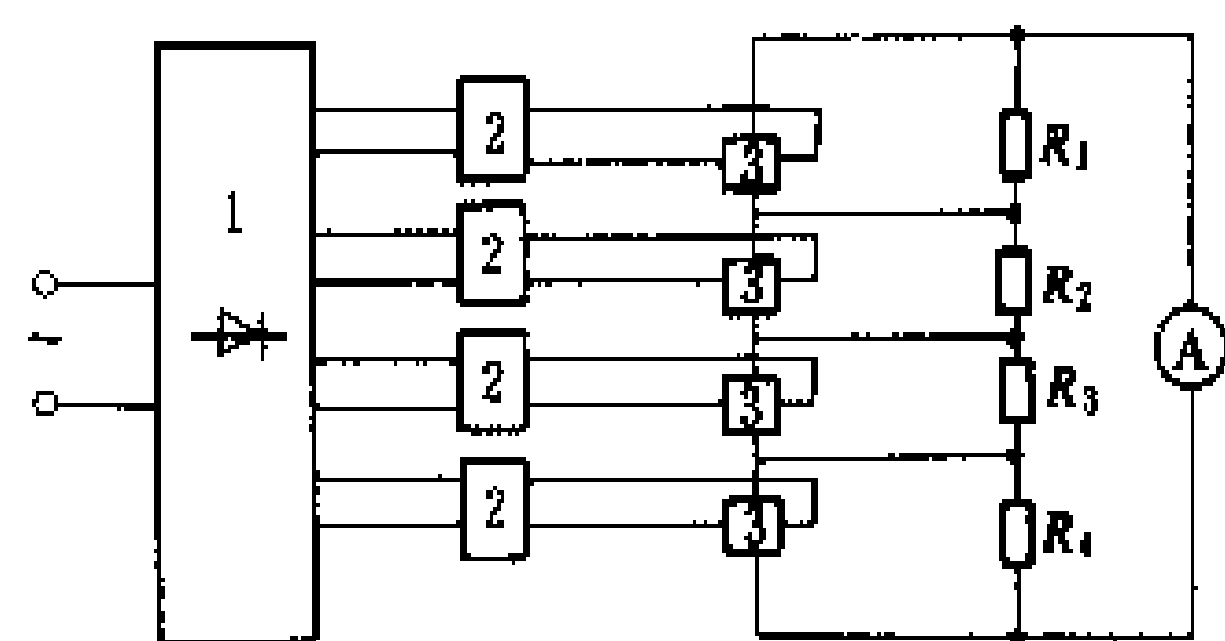


图2 有4个霍尔变换器的直流大电流测量装置方框图

1—整流器；2—稳压器；3—霍尔元件； $R_1 \sim R_4$ 标准电阻；A—电流表

核磁共振法直流测量装置 由苏联 C. A. 斯佩克托尔 (C. A. Спектор) 于 20 世纪 70 年代研究成功。在圆柱形 I - B 变换器的气沟内可获得均匀磁场，其磁感应强度与被测直流大电流的变换系数 K_1 可根据变换器的几何尺寸计算或测定出来，其框图见图 3。

$$B = K_1 I \quad (1)$$

式中 B 为 I - B 变换器的磁感应强度； I 为被测电流； K_1 为变换系数。



图3 核磁共振法测量直流大电流方框图

在均匀恒定的磁场中，具有自旋角动量的原子核发生运动。运动共振频率 f 与磁感应强度 B 之间有下列关系：

$$f = \frac{1}{2\pi} \gamma B \quad (2)$$

式中 γ 为所用物质的原子核磁回旋比，是物理常数； f 为运动共振频率或原子核运动频率。将式 (1) 代入式 (2)，得 $I = 2\pi f / (\gamma K_1) = Kf$ ， K 为整个测量装置的常数。可见只要准确测出物理量 f ，即可测得电流值，并直接读出数值。核磁共振法直流测量装置的量程为 35kA，尚不能取代其他测量装置，但却是大电流测量的发展方向。

直流比较仪 将被测直流大电流和量值已知的电流都变为与电流有密切关系的磁量，再进行比较，间接地获得大电流值的装置。有霍尔检零零磁通、偶次谐波磁调制式、双向自饱和磁放大器式等多种型式。

霍尔检零零磁通直流比较仪 在上述霍尔变换器直流大电流测量装置的每段铁芯上，各增加一组由独立直流电源供电的平衡绕组。当各平衡绕组产生的磁通势和被测电流在各段铁芯和气隙上所产生的磁通势不平衡时，霍尔变换器有输出，平衡时无输出，故称为霍尔检零零磁通直流比较仪，如图 4 所示。其量程可达

200 kA，具有精度较高（一般为 0.2%），受外磁场及温度变化的影响较小，重量较轻，具有开口铁芯，装拆维修方便，损耗较小（20 V·A/kA），线性度不理想，通道、元件多，故障机会较多等特点。

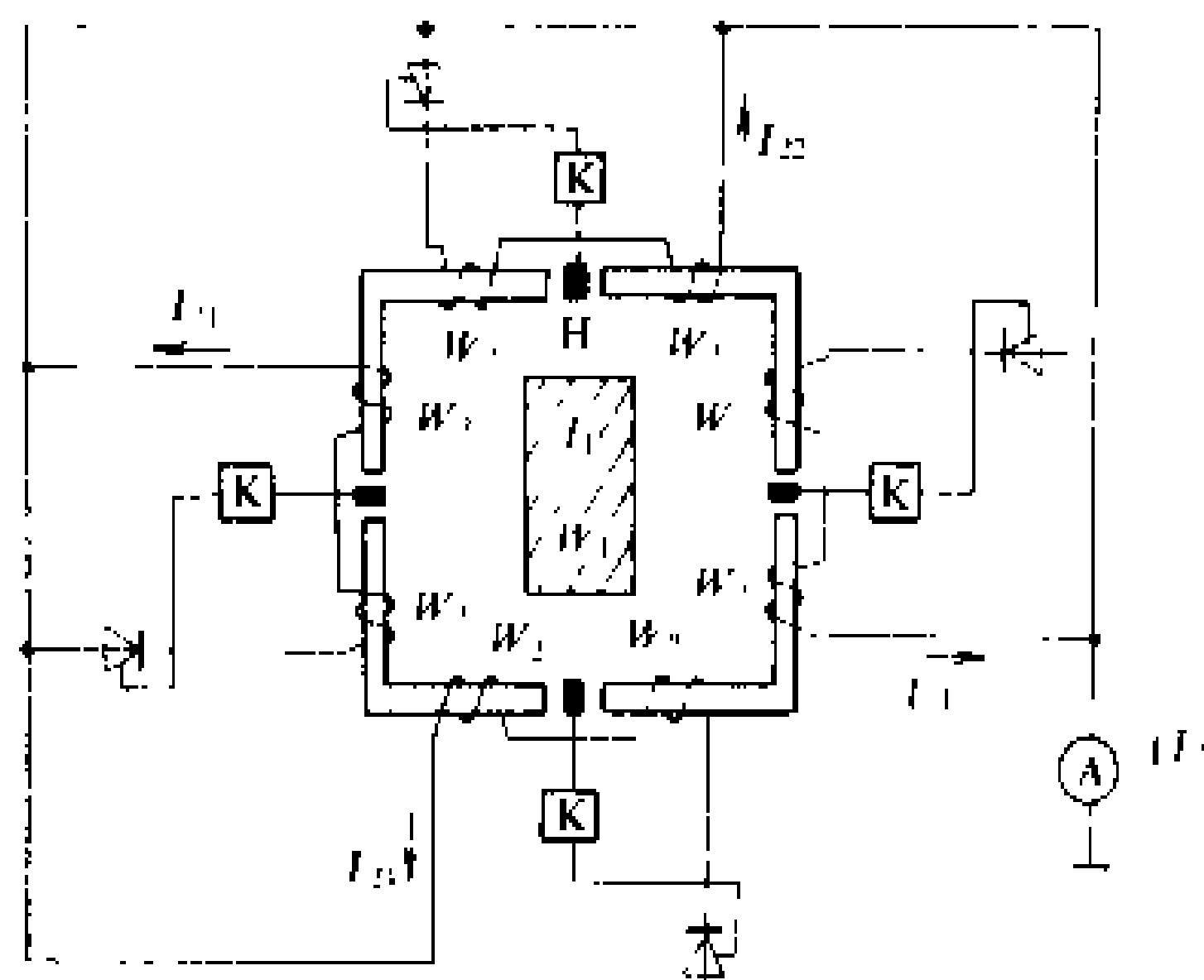


图4 4通道霍尔检零零磁通直流比较仪原理图

H—霍尔变换器； W_2 —各段平衡绕组匝数； $I_{21} \sim I_{24}$ —各段平衡绕组中的电流； I_1 、 W_1 —分别为被测母线电流及母线匝数； I_2 —总平衡电流；K—放大器

偶次谐波磁调制式直流比较仪 如图 5 所示，直流母线穿过两个特性相同的铁芯，一个绕组 W_2 同时

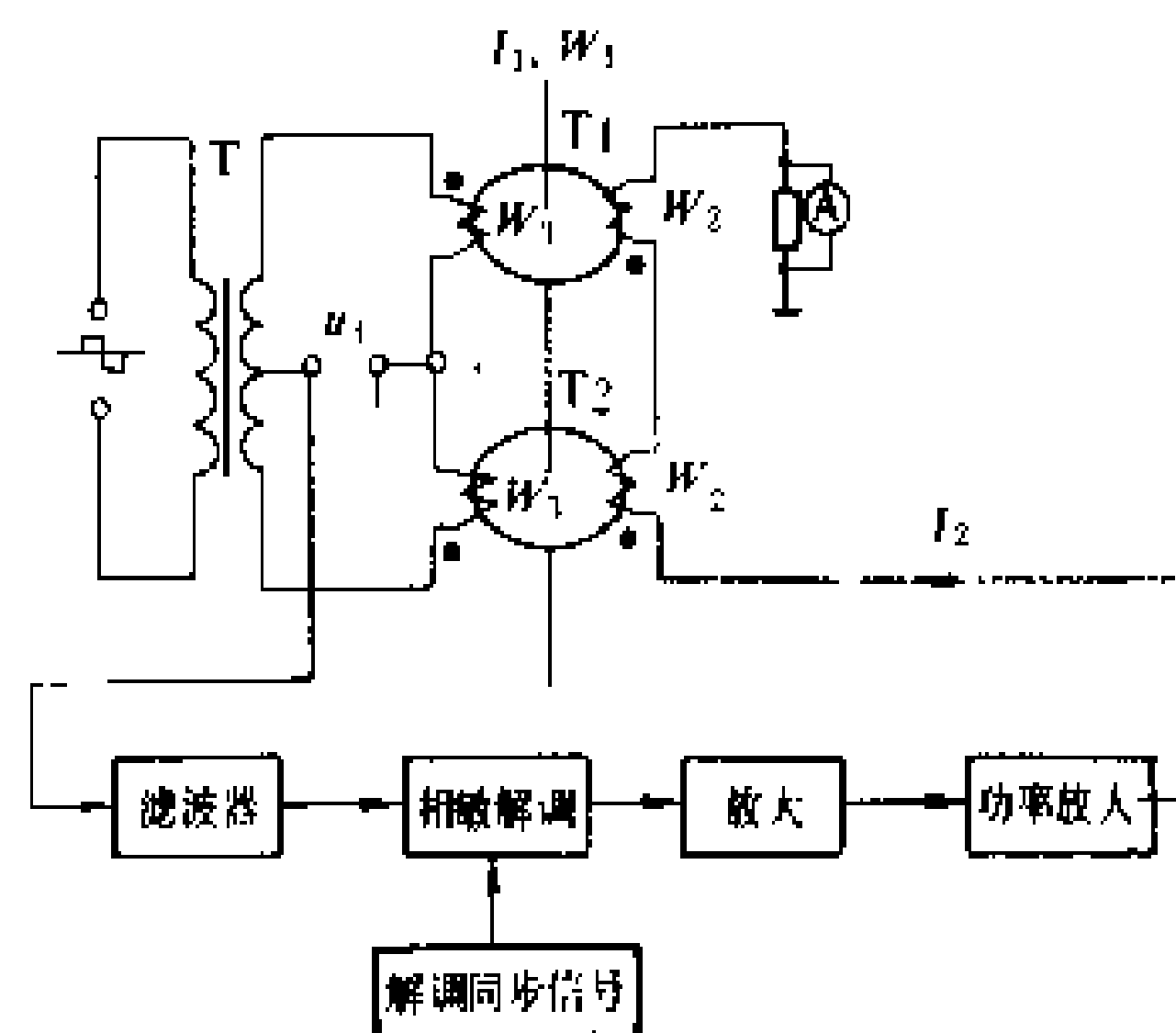


图5 磁调制式比较仪原理图

I_1 、 W_1 —直流母线中的电流及母线匝数； I_2 、 W_2 —平衡绕组中的直流电源及绕组匝数； W_3 —交流励磁绕组匝数；T—电源变压器；T1、T2—铁芯 I、I

绕在两个铁芯上， $I_1 W_1$ 和 $I_2 W_2$ 的磁通势方向相反，特性相同的两个 W_3 绕组反极性绕在两铁芯上， W_3 的交流电源波形必须与横轴对称，当被测电流和平衡绕组产生的磁通势平衡，即 $I_1 W_1 = I_2 W_2$ 时，两铁芯中磁通分别为

$$\begin{aligned} \phi_{T1} = f(t) = & \phi_0 + \phi_{1m} \sin(\omega t + \phi_1) \\ & + \phi_{2m} \sin(2\omega t + \phi_2) + \phi_{3m} \sin(3\omega t + \phi_3) \\ & + \phi_{4m} \sin(4\omega t + \phi_4) + \dots \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}\phi_{T2} = & -f\left(t + \frac{t}{2}\right) = -\phi_0 + \phi_{1m}\sin(\omega t + \phi_1) \\ & -\phi_{2m}\sin(2\omega t + \phi_2) + \phi_{3m}\sin(3\omega t + \phi_3) \\ & -\phi_{4m}\sin(4\omega t + \phi_4) + \dots\end{aligned}\quad (4)$$

由式(3)、(4)可知, T1 和 T2 中磁通奇数次谐波分量的振幅相同, 相位相同, 偶次谐波分量的振幅相同而相位则相反, 故磁调制器的输出电压为

$$\begin{aligned}u_3 = & W_3\left(\frac{d\phi_{T1}}{dt} - \frac{d\phi_{T2}}{dt}\right) = W_3 \frac{d(\phi_{T1} - \phi_{T2})}{dt} \\ = & 2W_3[2\omega \Phi_{2m}\cos(2\omega t + \phi_2) + 4\omega \Phi_{4m}\cos(4\omega t + \phi_4) + \dots]\end{aligned}\quad (5)$$

式中 W_3 为交流励磁绕组匝数; ϕ 为谐波相位角。可见输出电压为交流励磁电流频率的 2 倍频率的偶数函数, 不含有感应电压中的奇次谐波分量。用滤波器除去不需要的偶次谐波, 只保留需要的 2 次谐波。在忽略绕组电阻及磁滞损耗的情况下, 当 $I_2W_2 \neq I_1W_1$ 时, 铁芯中的磁场强度只影响感应电压 u_3 的 2 次谐波幅值而不会引起相位的变化。

磁调制式直流比较仪的特点是精度较高, 可达 0.05%~0.02%, 线性度好, 工作稳定; 能耗小, 约为 20 V·A/kA; 抗外磁场干扰能力强, 受温度变化的影响小; 开口铁芯, 安装拆卸维修方便; 电路较复杂, 环节多, 故障机会多。

双向自饱和磁放大器式直流比较仪 中国华中理工大学在德国 W. 克莱麦尔直流比较仪的基础上研制

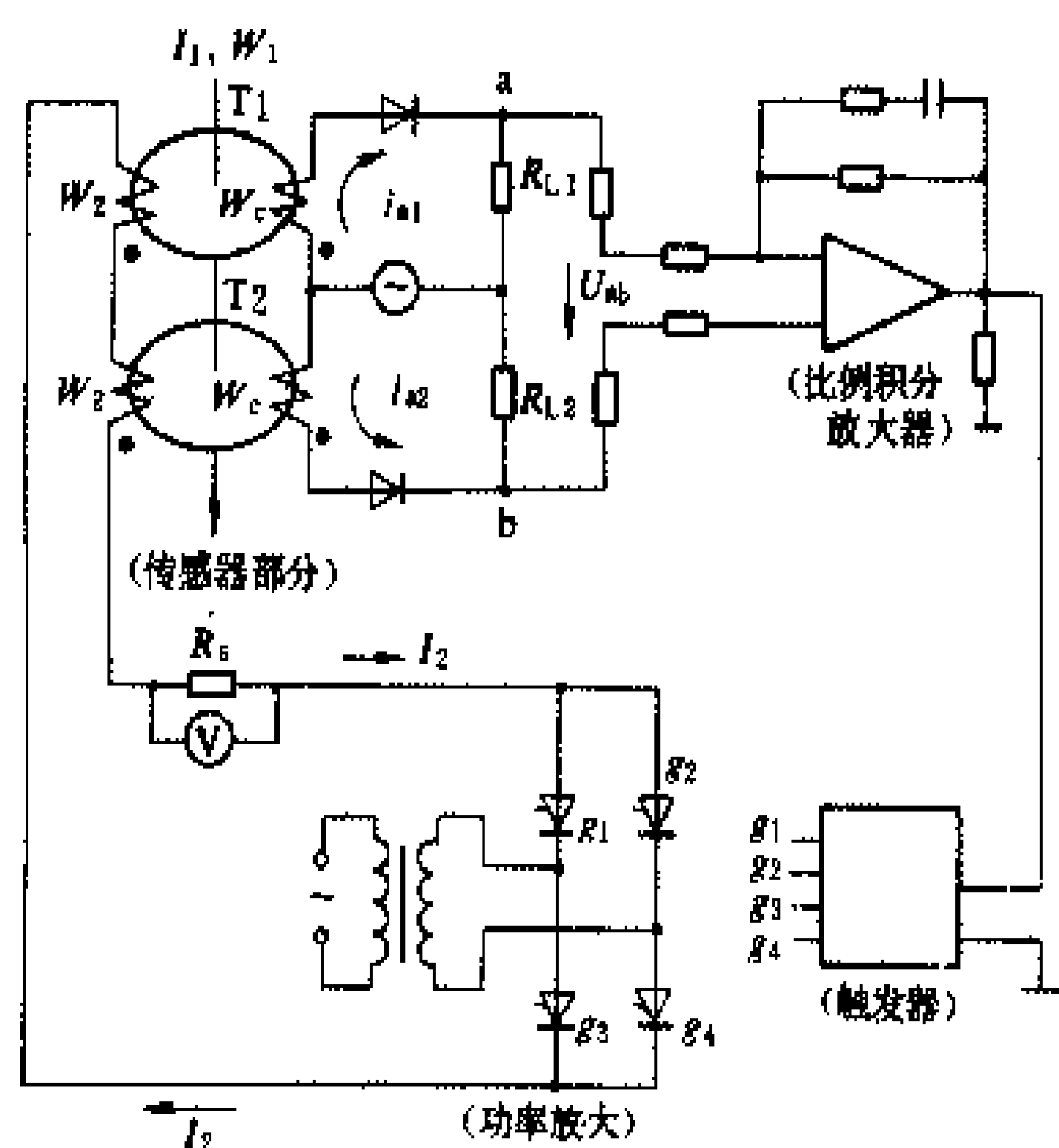


图 6 双向自饱和磁放大器式
直流大电流比较仪原理图

T1、T2—铁芯; I_1 —被测直流大电流; W_1 —被测直流母线匝数; I_2 —平衡电流; W_2 —平衡绕组(1个)匝数; W_c —磁放大器绕组匝数; R_{L1} 、 R_{L2} —电阻; U_{ab} —传感器平均输出电压; R_s —标准电阻

成功的。由传感器、比例积分放大器、晶闸管触发器、晶闸管整流器等四个主要部分组成。如图 6 所示, 当 $I_1W_1 = I_2W_2$ 时, 差动磁通势 $\Delta F = I_1W_1 - I_2W_2 = 0$, $U_{ab} = 0$ 。当 $\Delta F = I_1W_1 - I_2W_2 \neq 0$ 时, $U_{ab} = (i_{a1} - i_{a2}) R_L$ 。 ΔF 越大则 U_{ab} 越大, I_2 也越大, 使 I_1W_1 和 I_2W_2 趋于平衡。当电流比较仪的增益足够大时, ΔF 极小, 可忽略不计, 则 $I_1W_1 = I_2W_2$, 又 $I_2 = \frac{U_0}{R_s}$, 所以, $I_1 = \frac{W_2}{W_1} \times \frac{U_0}{R_s} = KU_0$, K 为变换系数, U_0 为 R_s 上的电压降。

双向自饱和磁放大器式直流大电流比较仪的特点是准确度高、线性度好; 损耗小, 约 12 V·A/kA; 电路简单、工作可靠, 开口铁芯, 安装维修方便; 受外磁场干扰和温度变化的影响小; 重量轻、成本低。

参考书目

- 揭秉信. 大电流测量. 北京: 机械工业出版社, 1987
C. A. 斯佩克托尔著. 直流大电流测量. 揭秉信, 周予为译. 北京: 中国计量出版社, 1985

(张贤清)

zhi liu dian dong ji

直流电动机 (direct current motor) 依靠

直流电源运行的电动机。直流电动机把直流电能转换为机械能。电池是最早提供电能的电源, 因此直流电动机于 1821 年先于任何其他电机而问世。直流电动机的优点有: ①能够在宽广的范围内平滑而经济地调速; ②起动、制动、过载转矩大; ③容易控制。直流电动机广泛应用于起动、调速性能要求较高的场所, 如用于电力机车、地下铁道、公共电车、机床、纺织机、造纸机、起重设备以及轧钢机等驱动。直流电动机由于有换向器, 故要消耗较多的有色金属(铜); 运行时电刷与换向器的滑动接触易产生火花并造成磨损, 还需经常维修; 制造工艺复杂, 费工时。与交流电动机相比, 直流电动机造价昂贵、运行可靠性较差, 从而使它的应用受到一定的限制。

分类 直流电动机分类方法很多, 按旋转部位分为转枢式(电枢旋转, 是最常见的直流电动机类型)和转场式(主磁场旋转, 以电子线路代替换向器)两种。

按结构原理分为: 换向器直流电动机, 无换向器直流电动机, 单极电机, 无刷直流电动机。

无换向器电动机是一种采用电子换向的直流电动机, 又称无整流子电动机。这种电动机在原理上与无刷直流电动机完全相同。只是习惯上无刷直流电动机指的是靠直流供电、采用半导体逆变器取代一般直流电动机中机械换向器的小功率电动机。容量较大的常称

直流电动机

为无换向器电动机。无换向器电动机用直流供电的叫直流无换向器电动机；用交流供电的叫交流无换向器电动机。在大功率的无换向器电动机中，其逆变器多用晶闸管构成，所以又称晶闸管电动机。

单极直流电动机是一种电枢导电部分始终工作于单一极性磁场中的直流电动机。它的电压低，电流大，如采用超导励磁绕组及液态电刷，可以制成高电压、大电流、大容量的超导单极直流电动机。超导单极直流电动机适用于船舶推进、轧钢、大型卷扬机和慢速压缩机等场合，很有发展前途。

按励磁方式分为：永磁式和电流励磁式。励磁磁场由永磁体建立的叫永磁直流电动机，采用电流励磁的直流电动机又分他励、并励和复励直流电动机。图1为其连接线路图。

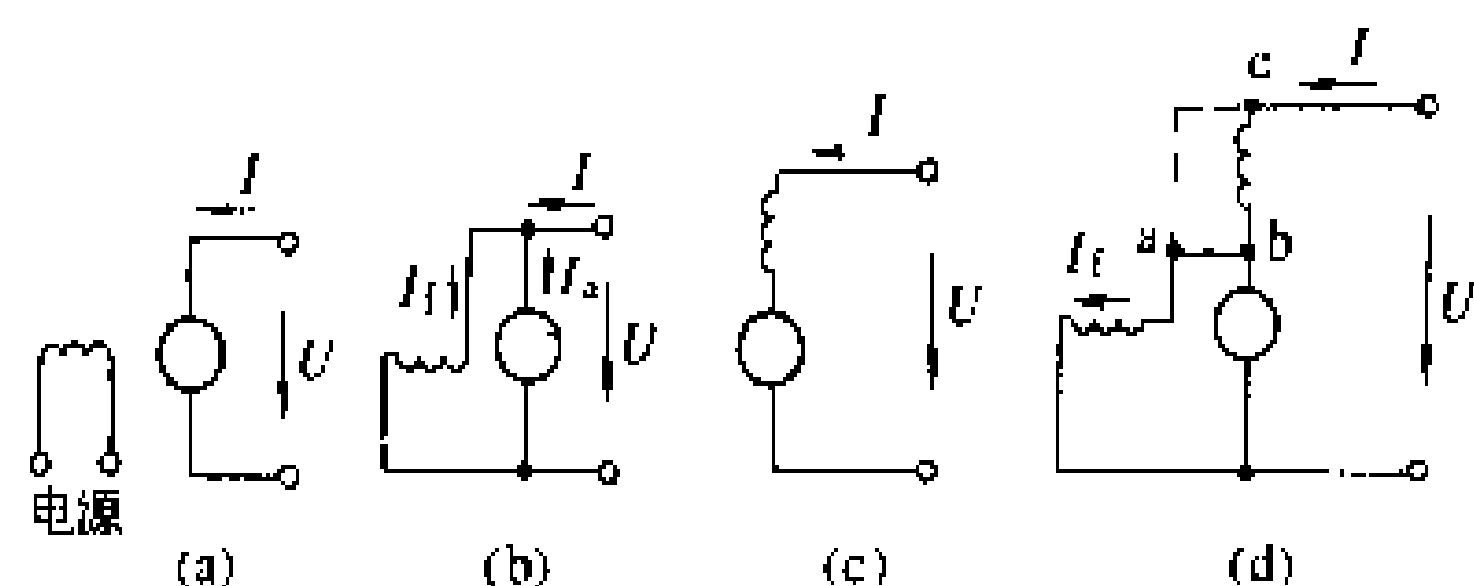


图1 直流电动机连接线路图

- (a) 他励直流电动机；(b) 并励直流电动机；
(c) 串励直流电动机；(d) 复励直流电动机

结构 直流电动机有定子和转子（电枢）两大部分，它们之间的气隙。定子包括机座、主磁极、换向极、电刷装置和端盖等。转子包括电枢铁芯、电枢绕组、换向器和轴等。此外，还有机械支撑部件、冷却和防护装置。图2为直流电动机结构示意图。

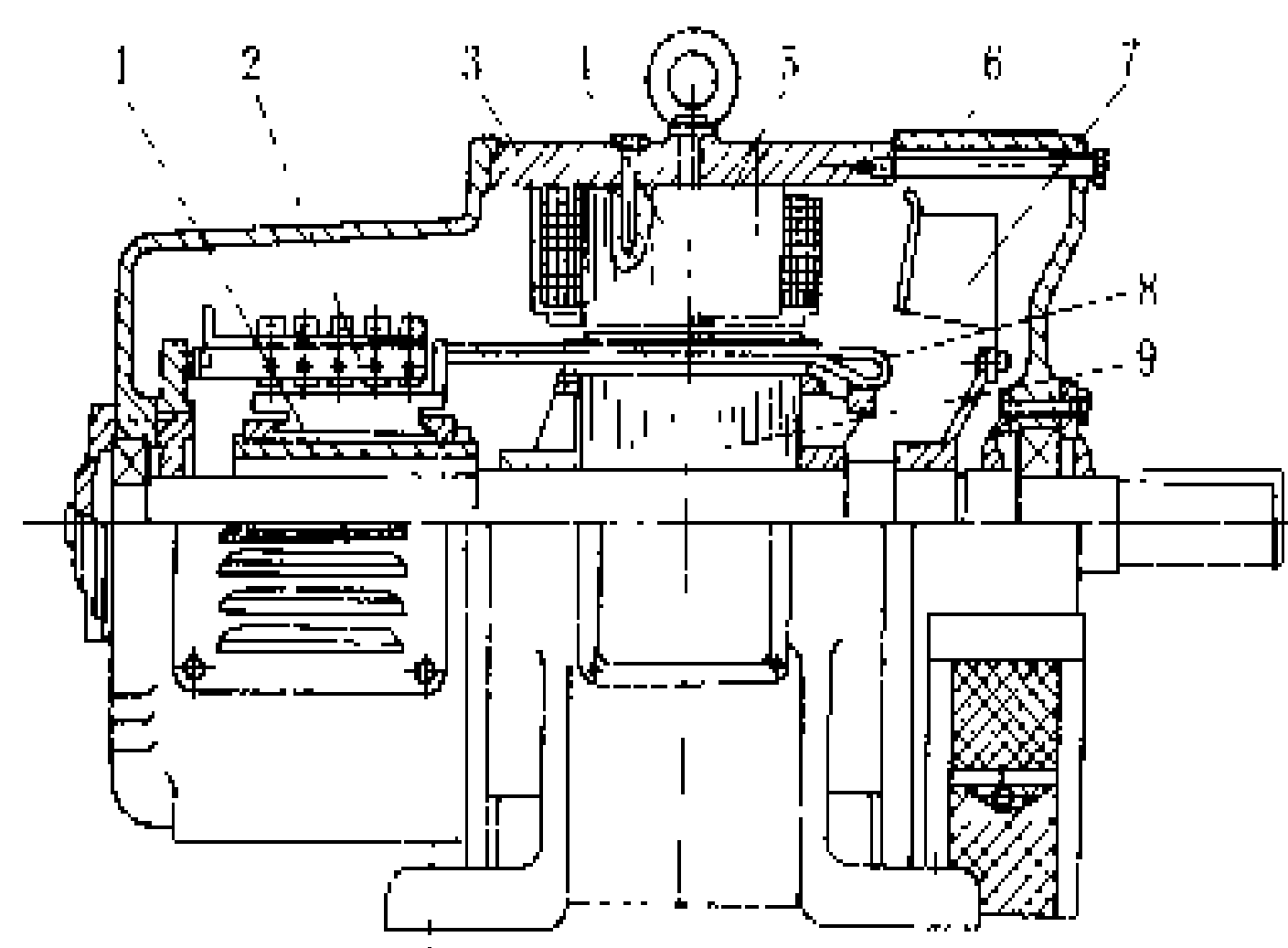


图2 直流电动机结构示意图

- 1—换向器；2—电刷装置；3—机座；4—主磁极；5—换向极；6—端盖；7—风扇；8—电枢绕组；9—电枢铁芯

机座 一方面用来固定主磁极、换向极和端盖等，并通过底脚将整个电机固定在基础部件上；另一方面作为磁轭，以构成主磁通的闭合回路。为保证具有良好的导磁和机械性能，机座常用铸钢或钢板焊成。

在调速要求高的电动机中，机座的机械支撑与磁

轭的导磁作用分开。磁轭用几毫米厚的涂漆薄钢板叠成，固定在专起机械支撑作用的机座上。这样的机座可用铸铁，微电机则可用铸铝，大型电机常用钢板焊成。为进一步改善换向性能及动态性能，可将主磁极、换向极、磁轭一起用整片的硅钢片冲成，形成全叠片式结构。

主磁极 也叫主极，如图3所示。它的作用是：当固定在它上面的励磁绕组通入直流电流后，使电枢表面的气隙磁密按一定形状在空间分布。主磁极铁芯常用1~1.5 mm厚的低碳钢板冲成冲片，再叠压成整体，用螺钉固定在磁轭上。主磁极总是成对出现，其极性沿圆周N、S交替分布。在大容量电动机中，通常在主磁极的极靴上开槽，安置与电枢电路串联的补偿绕组，以抵消电枢反应磁通势。

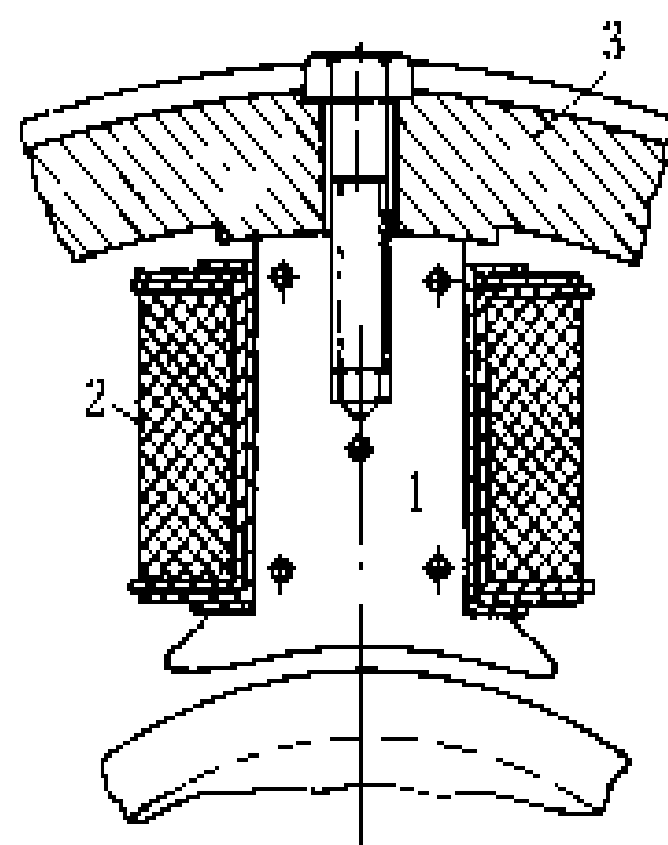


图3 直流电动机的主磁极

- 1—主磁极铁芯；2—励磁绕组；3—机座

换向极 又叫附加极或间极，用来改善换向。通常与主磁极数目相同，放在相邻两主磁极之间。换向极常用整块钢板或钢片绝缘后叠装而成，其外面所套的换向极绕组由扁铜线绕成，并与电枢绕组串联。

电刷装置 通过它把外部静止电路的电流引入电动机转动的电枢绕组中。它由电刷（一般是碳-石墨材料）、刷握（又称刷盒）、刷杆和刷杆座等组成。

电枢铁芯 主磁路的一部分。通常用0.5 mm厚的低碳硅钢片或冷轧硅钢片叠成，片间涂漆，外圆开槽，以嵌放电枢绕组。

电枢绕组 实现电能转换为机械能的关键部件。它由许多线圈（也叫元件，由带绝缘的导线绕成）按一定的规律连接而成。

换向器 将外面通入电刷的直流电流转变为电枢绕组的交变电流。它由许多换向片组成，片间有绝缘（多用云母）。换向片由铜制成，尾端开沟或接有连接片（称升高片），以便焊接电枢绕组线圈的端线。每个线圈的两个端线按一定规律分别接到两个换向片上，而接到同一换向片的两个端线分属两个线圈，这样，就把各个线圈连接起来成为电枢绕组。换向器的结构型式如图4所示。

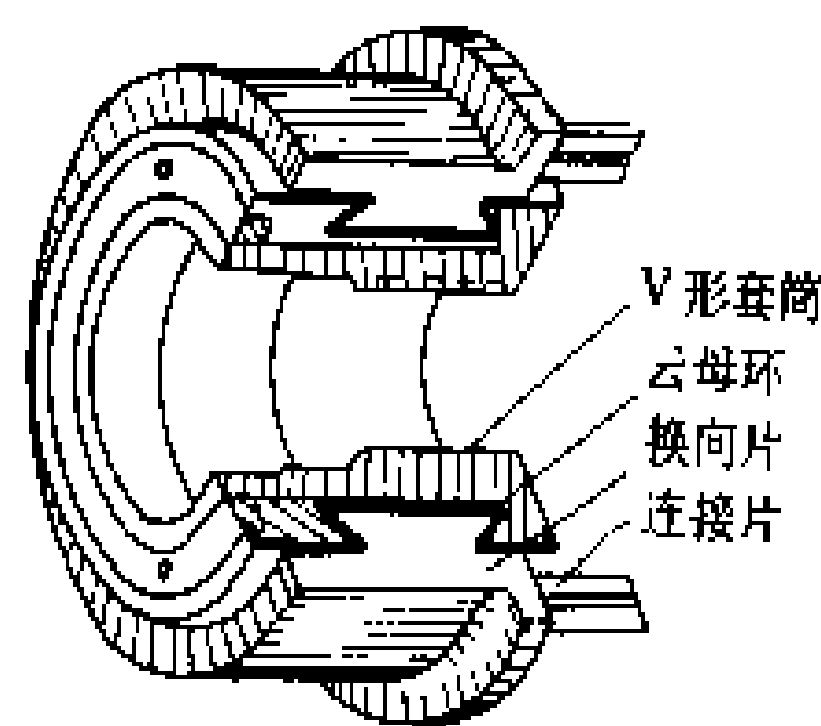


图4 换向器

上，而接到同一换向片的两个端线分属两个线圈，这样，就把各个线圈连接起来成为电枢绕组。换向器的结构型式如图4所示。



机械支撑部件 在小电动机中电枢铁芯直接套在轴上。在较大电动机中,在铁芯和轴之间还有一个铸钢或焊成的转子支架。

中、小型电动机一般用滚动轴承,轴承支撑在固定于机座两端的端盖上。大型电动机用滑动轴承,轴承通过支架直接支撑在基础部件上。

冷却及防护装置 按照电动机功率大小和使用条件,电动机有不同的冷却及防护装置。例如防护式电机在转轴上装有风扇,在端盖的进出风口上装着有孔的网罩。大容量电动机常用管道式通风,用另外的风机对电动机进行吹风循环,电动机外的冷风和电动机内的热风分别由管道引入和带走。在含有可燃气体的场所如矿井中,电动机应做成防爆式,机壳要有较高的机械强度,封闭得更严密,包括轴伸出处的轴封部分。

工作原理 图 5 为直流电动机工作原理示意图。线圈 abcd 放在电枢槽内。假设外部直流电流 I 从电刷 A 经换向片流进电枢上的线圈 abcd 后,自另一换向片经电刷 B 流出。电机中磁场方向如图 5 所示。根据左

流过的电流方向也改变,从而使电磁转矩的方向保持不变。电磁转矩随时间变化的波形如图 5 (c) 所示,图中电磁转矩有很大脉动,为了减少脉动,可以增加线圈数目。通常,每极下的线圈数目大于 8 时基本上可以消除脉动情况。

关键技术 主要有直流电动机的换向和整流电源供电。

换向 提高直流电动机单机容量和工作可靠性的主要问题是换向器上的火花问题。直流电动机工作时,电枢绕组各线圈不断地从一条支路经电刷短路后,换到另一条支路,线圈中的电流也不断地改变方向,这就是换向。换向不好时,会在电刷和换向器之间产生火花。火花超过一定限度时,会使电刷和换向器磨损加剧,从而缩短电刷寿命。严重时,甚至还会使换向器表面发生环火(换向器圆周表面出现一圈明亮的火环,也叫放炮),损坏电动机。此外,换向器上的火花还会对无线电通信产生干扰。

中国国家标准 GB755《旋转电机基本技术要求》中规定,直流电机换向的火花分为 1、 $1\frac{1}{4}$ 、 $1\frac{1}{2}$ 、2、3 等共五个等级,见表。一般用途的直流电动机从空载到额定负载的所有情况下,火花等级应不超过 $1\frac{1}{2}$ 级。

改善换向的方法有:移动电刷位置;合理选择电刷牌号;装置换向极;装置补偿绕组。

(1)移动电刷位置。电刷逆着电动机转向移动一个小距离,使换向线圈的两个有效边处于主磁极的后极尖处。移动的距离以不超过所允许的火花级别为准。负载变动时,电刷位置必须作相应的

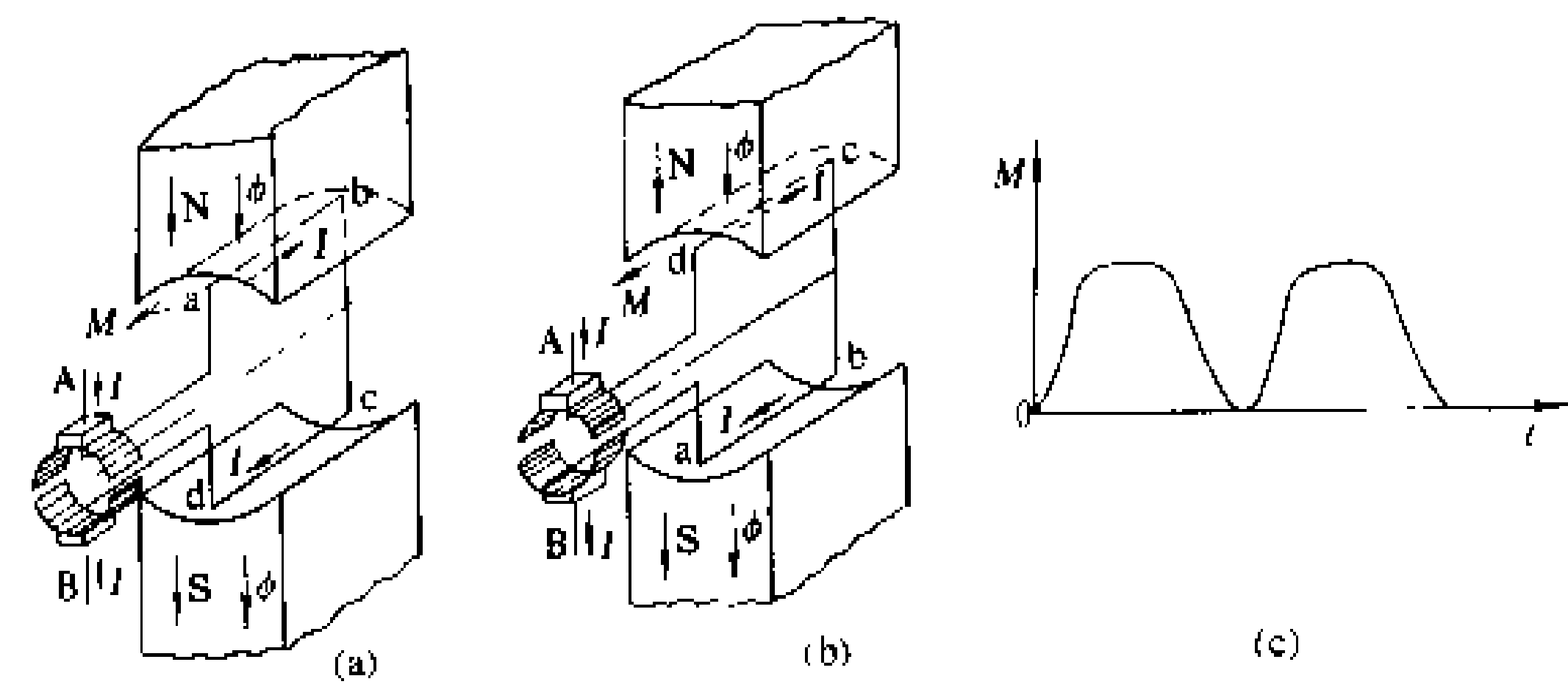


图 5 直流电动机工作原理示意图

(a)、(b) 平均电磁转矩的产生; (c) 电磁转矩随时间变化的波形

手定则,在图 5 (a)、(b) 中,载流导体 ab、cd 受电磁力而产生的电磁转矩总是逆时针方向,这是因为当导体位于不同极性的磁极下时,由于换向器使导体中

直流电机换向的火花等级

火花等级	电刷下的火花程度	换向器及电刷的状态
1	无火花	换向器上没有黑痕,电刷上没有灼痕
$1\frac{1}{4}$	电刷边缘仅小部分(约 $1/5\sim 1/4$ 刷边长)有断续的几点状火花	
$1\frac{1}{2}$	电刷边缘大部分(大于 $1/2$ 刷边长)有连续的、较稀的颗粒状火花	换向器上有黑痕,但不发展,用汽油擦其表面即能除去,同时在电刷上有轻微灼痕
2	电刷边缘大部分或全部有连续的、较密的颗粒状火花,开始有断续的舌状火花	换向器上有黑痕,用汽油不能擦除,同时电刷上有灼痕,如短时出现这一级火花,换向器上不出现灼痕,电刷不烧焦或损坏
3	电刷整个边缘有强烈的舌状火花,伴有爆裂声音	换向器上黑痕较严重,用汽油不能擦除,同时电刷上有灼痕,如在这一火花等级下短时运行,则换向器上将出现灼痕,同时电刷将被烧焦或损坏



移动。这种方法只在没有装置换向极的小电动机中采用。

(2)合理选择电刷牌号。不同牌号的电刷具有不同的接触电阻。电刷的接触电阻大,可以改善换向,但增加了电刷接触处损耗,发热加剧。一般中小型电动机,大多采用石墨电刷;牵引电动机和电车电动机,必须采用电化石墨电刷;低电压大电流的电动机,宜采用含铜石墨电刷。

(3)装置换向极。装在两主磁极之间,通常与主磁极的极数相等,换向极绕组和电枢绕组串联。换向极的极性与逆转向的相邻主磁极的极性相同。对于换向有特殊困难的电动机,采用全叠片式。

(4)装置补偿绕组。导线嵌在磁极极靴的槽中,补偿绕组与电枢绕组串联,其电负荷应设计得与电枢的电负荷相等(一般补偿程度为80%~105%)。补偿绕组只在大容量以及工作条件比较困难的直流电动机上装设。

整流电源供电 直流电动机从最初的由电池供电,经历了直流发电机、交流电动机驱动直流发电机、用整流器件(如水银整流器、闸流管、引燃管等)将交流电整流成直流电供电,至现代用晶闸管整流电源供电。

晶闸管整流电源已有逐渐代替直流发电机的趋势。主要优点是体积小、重量轻、能耗小、效率高、动作速度快、调压范围大和控制精度高等。由于整流电源供给的直流电压中含有较大的交流分量,也给直流电动机带来一些不良影响,如换向性能变坏、温升增高、机械振动加大、产生轴电压、绕组绝缘可能因承受高频谐波电压的作用而发生击穿现象等。因此,必须采用合适的晶闸管整流电路,同时对电动机也应采取相应措施(例如采用全叠片结构的定子铁芯;在主磁极上装置一个短路的阻尼线圈;适当降低电动机的输出功率;加强结构件的刚度,使各结构件的固有频率远离脉动转矩的频率;加强绕组首尾几匝的匝间绝缘;将轴经电刷接地等),使两者相互配合,以得到安全可靠的运行和较高的经济效益。

(金啟政)

zhiliu diandongji baohu

直流电动机保护 (protection of DC motor)

对直流电动机运行中出现的故障和危及安全运行的异常工况所采取的保护措施。直流电动机在起动、制动或正常运行中,当其供电电源系统、直流电动机自身或负载出现故障或者危及安全运行的异常工况时,直流电动机保护将自动切断电源,或者给出信号由值班人员消除异常工况的根源,以减轻或避免直流电动机

机及其他设备的损坏和对相邻的同一直流电源供电的用户的影响。

直流电动机保护,常用继电器来实现。继电器是当输入物理量(电量或非电量)达到规定值(整定值)时,其电气输出电路被接通(导通)或分断(阻断、关断)的一种电器。

中、小容量低压直流电动机保护包括过电流保护、过电压保护、零励磁保护。大容量高压或特殊用途直流电动机,除上述三种保护外,还设有接地保护、过载保护、超速保护和快速过流保护。

(1)过电流保护。利用过电流继电器构成的一种电枢回路的保护。当直流电动机电枢回路出现过电流时,继电器动作,将直流电动机电枢回路从电源切除。直流电动机、电源装置及电动机的负载所构成的直流传动系统,如果发生某些故障或异常工况,如直流电动机电枢绕组匝间短路,将会出现电流增大的现象。该电流会超过电动机的额定电流值,称为过电流。过电流使直流电动机的温升超过最大的长期容许值(额定值),加速绕组绝缘的劣化,并使换向变坏。过电流越严重,这种威胁越大,严重时可在短时间损坏直流电动机绕组和整流子。因此,当直流电动机电枢电流超过规定的切断电流值时,过电流继电器动作,瞬时切断直流电动机电枢回路的电源,防止过电流的继续存在和发展。

(2)过电压保护。利用过电压继电器构成的一种电枢回路保护。当供电电源电压过高或控制系统不完善,使整流子片间电压过高时,过电压继电器动作,瞬时切断直流电动机电枢回路的电源,以免整流子出现环火和损坏。

(3)零励磁保护。利用电流继电器构成的励磁回路保护。当直流电动机的励磁电流消失和过小时,直流电动机的电枢电流将急剧增大,转子转速也同时迅速升高,致使电流和转速都可能远远超过规定值,电枢绕组可能被烧坏,转子将因机械强度不足而可能受到破坏,整流子将因换向严重恶化而被损坏。为此,当一出现励磁电流小于某一规定值时,电流继电器动作,瞬时切断直流电动机的电源。对于采用磁场反向的快速可逆系统,则不设置零励磁保护。

(4)接地保护。利用电压继电器构成的接地保护。当直流电动机的任一点发生接地时,电压继电器动作,发出警告信号或切断电源。

(5)过载保护。利用电流继电器构成的一种电枢回路保护。如果直流电动机长时间处于过载状态,其电枢电流也将长时间超过额定值,致使绕组过热。一般当电动机出现过载电流时,电流继电器动作,并发出警告信号。对不同的过载电流大小,规定有允许的运行时间。



对由晶闸管或二极管整流电源供电的直流电动机，当过载超过 1 min 时，就停止逆变器工作并切断其主电路供电电源。

(6)过速保护。利用机械式离心开关构成的一种转子过速保护。由各种原因所造成的直流电动机转速过高，将导致整流子环火或转子的损坏，故应瞬时切断电动机的电源。

(7)快速过电流保护。采用快速开关构成的过电流保护。对由晶闸管或二极管整流电源供电的直流电动机，为迅速切断电流，在主回路中设置了毫秒级动作时间的直流快速开关。

(施传立 林广悦)

zhiliu diandongji chuandianzu tiaosu

直流电动机串电阻调速 (armature rheostat speed control of DC motor) 通过改变直流电动机电枢回路电阻实现直流电动机调速的技术。各种直流电动机都可以通过改变电枢回路电阻来调速。其转速特性的公式为

$$n = \frac{U - I_a(R_a + R_q)}{K_a\Phi}$$

式中 n 为电动机转速； U 为电动机电枢端电压； I_a 为电枢电流； R_a 为电枢绕组（包括各串联绕组及电刷接触的电

阻）的总电阻； R_q 为电枢回路中的外接电阻； K_a 为电机常数； Φ 为励磁磁通。从上式可以看出，改变外接电阻 R_q 的数值，即可改变电动机的转速。

图 1 所示为他励直流电动机改变电枢回路电阻时的机械特性。图中 n 为未串电阻时的转速，当负载

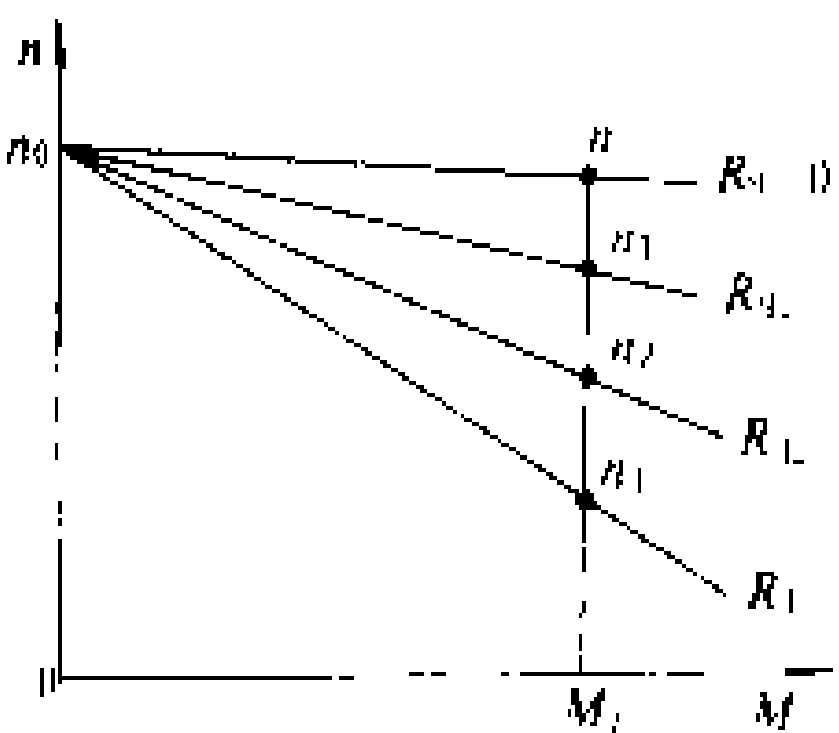


图 1 他励直流电动机的机械特性

一定时，随着串入的外接电阻 R_q 的增大 ($R_{q3} > R_{q2} > R_{q1}$)，电枢回路总电阻 R

$= (R_a + R_q)$ 也增大 ($R_a + R_{q3} > R_a + R_{q2} > R_a + R_{q1}$)，电动机转速就降低 ($n_3 < n_2 < n_1 < n$)。图 2 为串励直流电动机的机械特性，也可以通过改变外接电阻 R_q 改变转速。

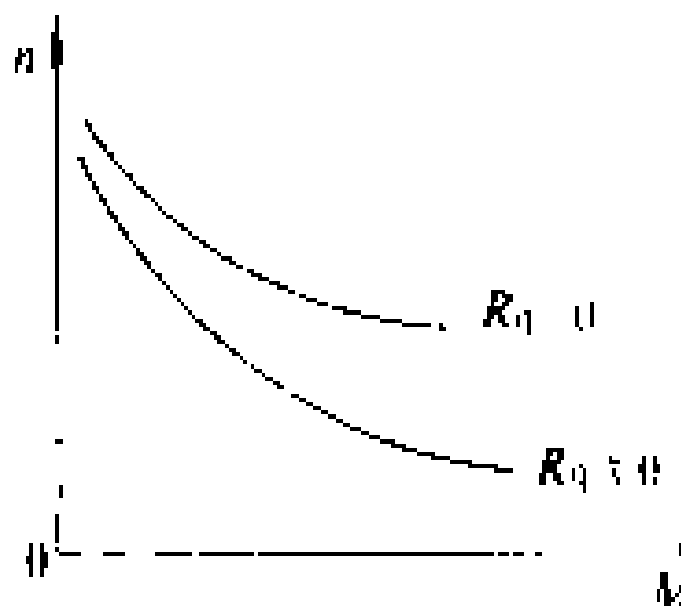


图 2 串励直流电动机的机械特性

直流电动机串电阻调

速为有级调速，调速比一般约为 2 : 1 以下。其主要优点是：设备简单（只需增加外接电阻和切换电阻的开

关），操作方便。其缺点是：调速平滑性差；低速时的特性软，转速受负载变化的影响较大，轻载时很难得到低速；外接电阻愈大，其损耗也愈大，因而效率明显下降。因此，这种调速方法多用于对各种调速性能要求不高的设备上，如起重机、电车等。

(施传立)

zhiliu diandongji hengzhuanju tiaosu

直流电动机恒转矩调速 (speed control of DC motor with constant torque) 在全部调速范围内，直流电动机输出转矩的最大允许值不变的调速方法，又称直流恒转矩调速。

直流电动机恒转矩调速包括调电枢电压调速和电枢串电阻调速两种。

直流电动机的电磁转矩公式为 $M = K_M I_a \Phi$ ，式中 $K_M = K_a / 1.03$ ， K_a 为电机常数。在调电枢电压调速及电枢串电阻调速中， Φ （励磁磁通）为常值， I_a （电枢电流）受电机电流额定值的限制，其长期工作电流的最大值也可视为常值。因此，直流电动机的调电枢电压调速和电枢串电阻调速并不改变电动机的最大允许输出转矩，所以，均属恒转矩调速。人们通常所称的直流恒转矩调速常常是指被广泛应用的直流电动机调电枢电压调速。

(黄继鹤)

zhiliu diandongji tiaoci tiaosu

直流电动机调磁调速 (speed control of DC motor by changing the field current) 用改变直流电动机励磁电流实现直流电动机调速的技术，又称直流调磁调速。它是一种较为简单、经济，容易实现无级控制的调速。

为了充分利用直流电动机的容量，励磁电流一般为额定值，即电动机处于满磁状态下运行。因此，调节励磁实际上只能从额定励磁往减弱励磁方向进行，所以又被称为弱磁调速。此调速法能在额定励磁下，通过升高电枢电压到额定值（见图 1 中的 U 线）而使电动机转速提高到基速（调压调速的最高转速）的基础上，再减弱励磁，提高转速，见图 1 中的曲线 Φ 。由于在换向器上引起火花的电动势的幅值与转速、电枢电流成正比，因而随着转速的增高，整流条件变差，电枢电流的允许值相应降低。电枢电流与电枢的机械强度是限制直流电动机弱磁调速上限的两大因素。此外，励磁减弱过多，还可能使电动机转速进入失去控制状态，见图 2 中的曲线 Φ_1 。

无换向极电动机的调速幅度为 1.5 ~ 2 倍；有换向极的电动机为 3 ~ 4 倍；有补偿绕组的电动机为 4 ~



5 倍。在调磁调速的整个范围内，随着转速上升，允许输出转矩相应减少（见图 2 中虚线），大体上保持转速乘转矩等于常数，即输出功率等于常数（见图 1 中曲线 P ），所以调磁调速又被称为直流电动机恒功率调速。

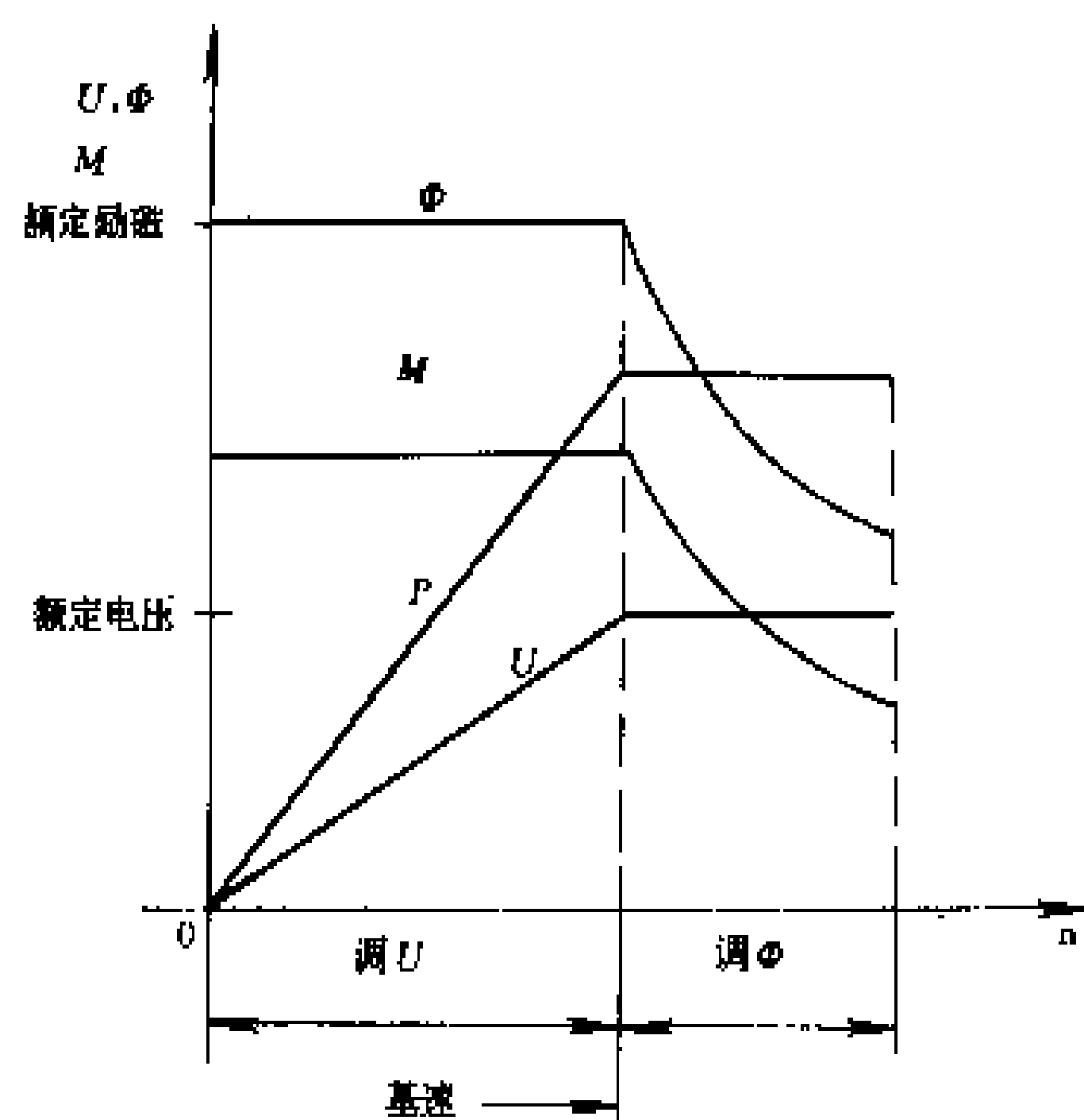


图 1 直流电动机调压和调磁时的调速特性

从图 2 可见，电动机的励磁愈弱，相同的负载变动时其转速变化也愈大。设 Δn 和 $\Delta n'$ 分别为额定励磁和减弱励磁条件下的转速降； n_0 和 n_0' 分别为额定励磁和减弱励磁条件下的空载转速，则它们之间的关系式为 $\Delta n' = \Delta n (n_0' / n_0)^2$ 。

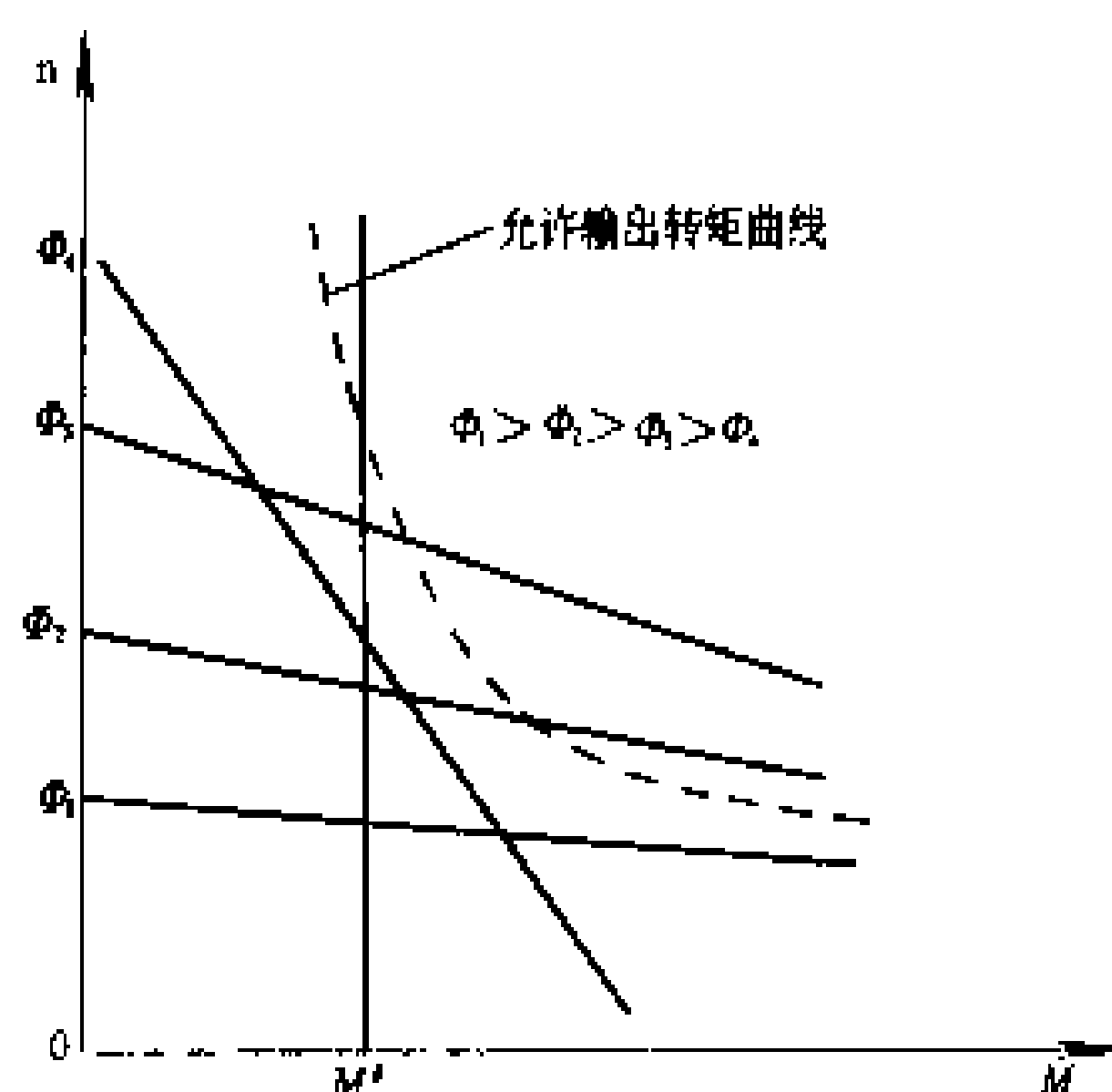


图 2 他励直流电动机调磁调速特性曲线

由于直流电动机励磁回路的时间常数远大于电枢回路的时间常数，因此，直流调磁调速的反应速度也就不如调电枢电压调速。本调速法适用于对反应速度要求不高、要求电动机能在基速以上以及恒功率控制的场合，如纸张、带材等加工机械的卷筒恒张力控制等。调磁调速也可与调电枢电压调速相结合，构成调压调磁调速。（见独立控制调压调磁直流调速、非独立控制调压调磁直流调速）

参考书目

- 段文泽，童明做编著．电气传动控制系统及其工程设计．重庆：重庆大学出版社，1989
- 彭志瑾编著．电气传动与调速系统．北京：北京理工大学出版社，1988

（施传立）

zhiliu diandongji tiaosu

直流电动机调速（speed control of DC motor）

按照被拖动机械设备的工况需要，对拖动该设备的直流电动机转速进行控制的技术，又称直流调速。

简史 自从 19 世纪 70 年代出现有商品价值的直流电动机之后，人们最初用调节直流电动机的励磁进行调速。到 19 世纪末，开始使用单独控制直流发电机励磁来调节直流电动机电枢电压的直流调速。20 世纪 30 年代以前，使用没有中间放大环节的直流电动机调速。40 年代以后，随着电机放大机及以后的电子管放大器、磁放大器、离子器件和半导体器件在电动机调速领域中的出现，直流调速系统采用了中间放大环节和反馈控制，性能明显提高。直流调速系统的稳速精度可达数十万分之一；调速比可达数万比一；晶闸管相位控制直流调速中转矩响应时间可小于 20 ms，当采用了开关型晶体管变换器和特种直流电动机后，电流环的响应时间可缩短到 1~2 ms。在 20 世纪 70 年代以前，调速要求较高的机械设备，大都采用直流电动机调速，交流电动机调速主要用在对调速要求不高，或直流电动机所不能胜任的场合（如有超高速要求，有防爆以及特大容量等特殊要求的场合）。

原理和分类 直流电动机转速特性公式为

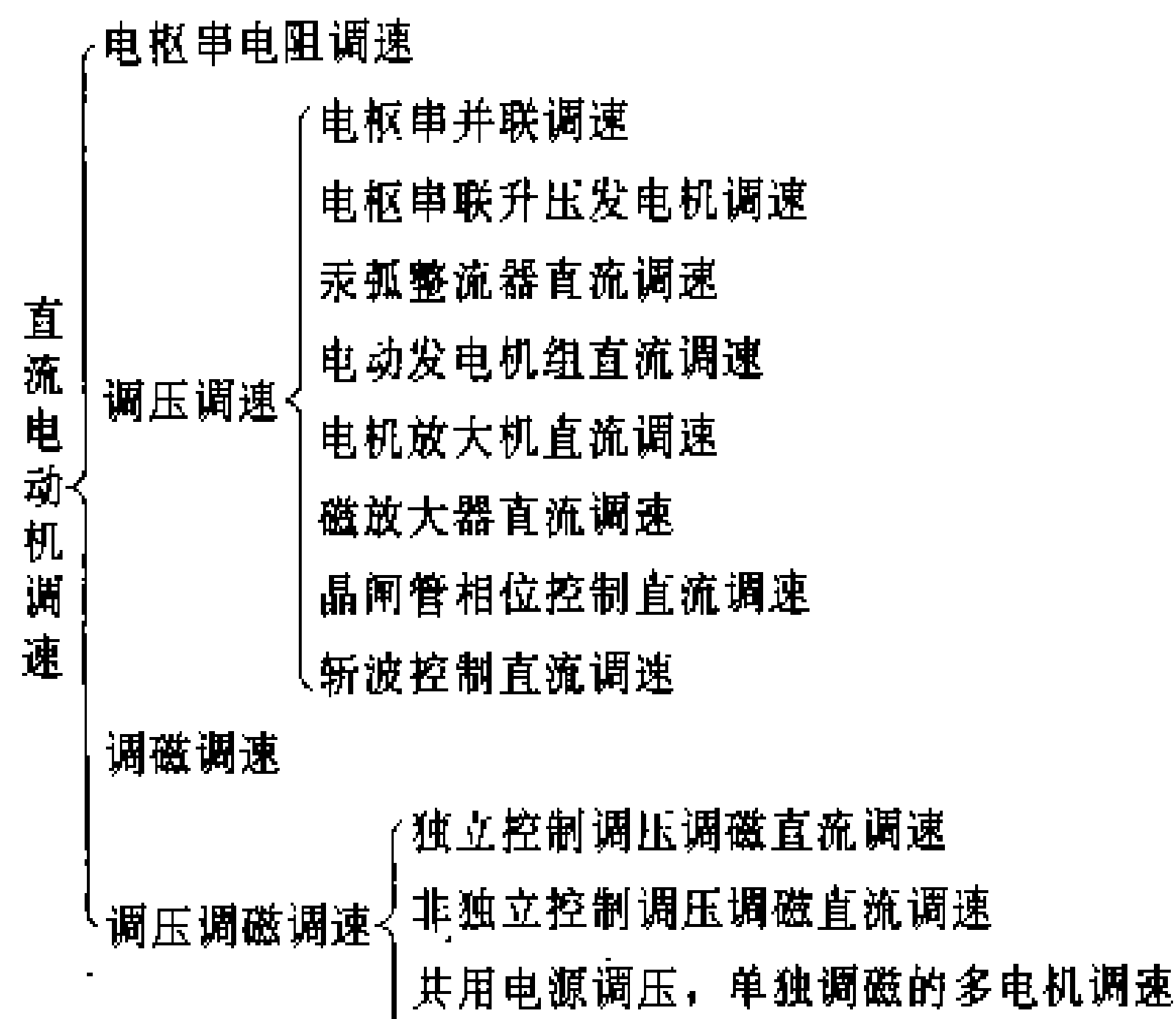
$$n = \frac{U - I_a R}{K_e \Phi}$$

式中 n 为电动机转速； U 为电动机电枢端电压； I_a 为电枢电流； R 为电枢回路总电阻； K_e 为电机常数； Φ 为励磁磁通。由上式可见，只要改变电枢端电压 U 、电枢回路总电阻 R 或励磁磁通 Φ 中的任何一个或两个参量，都可以调节直流电动机的转速。

因此，直流电动机调速可按调节参量的不同分类，如表所示。

直流电动机调压调速 在电枢电压可调的条件下，调节直流电动机的电枢电压，可以实现直流电动机的四象限运行。调电枢电压调速具有负载变化时速度稳定性好、响应快、调速范围宽等优点，是调速性能较高的直流电动机调速方法。（见直流电动机调压调速）

直流电动机电枢串并联调速 某机械由 N 台等



转速的直流电动机拖动,这些直流电动机的规格相同,它们的轴与轴之间又有足够牢固的机械联系,则可将这些直流电动机的电枢加以串联,并串入起动电阻,再接到恒定直流电源电压 U 上。起动时逐步减少起动电阻阻值,直到完全切除。这样,每台电动机受到的电压为 U/N 。改变串联的电机数,使之相应转入并联支路,即可实现有级调速。此法特点为线路简单、节能,多用于电动车辆调速。

直流电动机电枢串联升压发电机调速 将直流电动机电枢与直流发电机电枢串接,再接到共用直流电源(见图1),则电动机电枢的电压等于共用电源电压加(或减)被串接的直流发电机端电压。调节共用电源电压或串接的直流发电机(又称升压发电机)的电

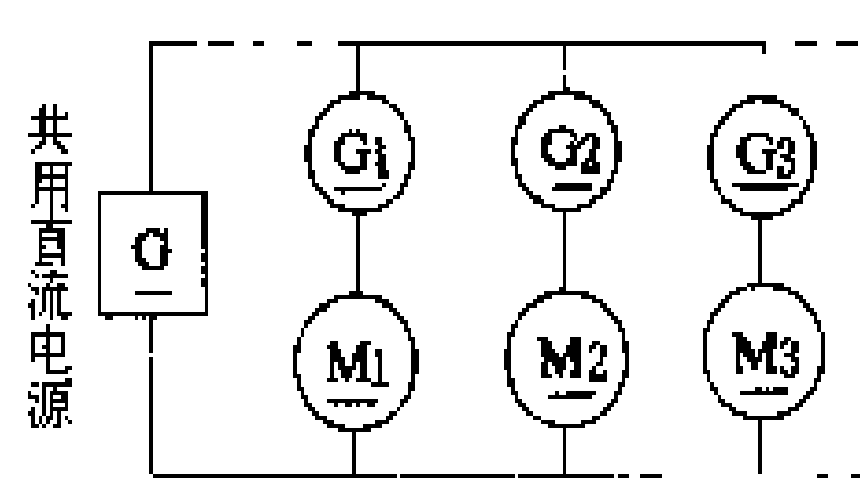


图1 直流电动机电枢串接升压发电机调速典型线路

压都可调节电动机的电枢电压,实现各电动机的单独调速。升压发电机的额定电压通常比被其控制的拖动电动机小,但额定电流值相近,升压发电机的控制功率也较小,且反应快。在反应更快、换能效率更高且无旋转部分的半导体变流装置问世以前,本调速法多被用于对转速控制有高动态要求的机械,如分部传动长网造纸机、连续加工机械等。

汞弧整流器直流调速 用汞弧整流器将交流电整流成直流电,供电给直流电动机,通过相位控制调节直流整流电压,实现直流电动机调速的技术。本调速法具有节约用铜、节省安装基础的投资等优点,但存在水银污染环境、深调速区段功率因数低等问题。汞弧整流器直流调速的工业应用盛行于20世纪40~50年代,随着晶闸管相位控制直流调速的发展,因其具有可靠性高、维护更方便、不污染使用环境、功率放大倍数和能量效率均更高等优点,而取代了汞弧整流

器直流调速。

斩波控制直流调速 或称脉冲控制直流调速。对电动机直流电源或恒压直流电源经斩波器控制,使其作周期性重复接通和开断,与此同时,按要求改变其接通持续时间与开断持续时间的比例,从而调节供电电压的平均值,使直流电动机实现调速。斩波控制直流调速,具有节约能源、调速平滑、调速范围宽,并能快速响应和再生制动等优点,适用于无轨电车、电力机车、蓄电池车和潜艇等。(见斩波控制直流调速)

直流电动机电枢串电阻调速 在一定的负载条件下,增减电枢回路中的电阻值,可相应实现降低或升高转速。电枢回路中串入的电阻值愈大,当负载增大时转速下降幅度也愈大。本调速法在轻负载条件下难以达到低速且效率低,多用于调速要求不高、电动机容量不大、短时工作制或有软转速-转矩特性要求的场合。使用电枢串电阻调速,并不改变电动机的最大允许输出转矩,所以本调速法也是直流电动机恒转矩调速的一种。(见直流电动机串电阻调速)

直流电动机调磁调速 在电枢电压恒定条件下,调节电动机的励磁电流实现的调速。(见直流电动机调磁调速)

直流电动机调压调磁调速 为了经济而又充分地使用直流电动机,对于只在低速段要求拖动转矩大,而在电动机额定转速以上则允许拖动转矩随转速升高而下降(如轧钢机、航空发电机恒速装置试验设备等),大体上符合转矩乘转速等于常数的规律的负载,则可将整个调速范围分成调电动机电枢电压段和调电动机励磁电流段,中间平滑过渡,这就是直流电动机的先调压后调磁的调速控制。与单纯使用调电枢电压调速相比,可成倍地减轻所选用的电动机重量。根据其调磁控制依附于电枢电压方式的不同,又被分成独立控制调压调磁直流调速和非独立控制调压调磁直流调速。

调速系统 直流电动机的调速系统可分为单闭环调速系统和多闭环调速系统。

单闭环调速系统 如果直流调速采用开环系统,即不加任何反馈量,负载电流、电源电压等变化将引起转速的波动,使电动机转速与其给定值产生偏差。为了减少这种偏差,构成如图2所示引入转速负反馈的单闭环调速系统,按转速给定信号与反馈信号的偏差信号对电动机进行控制,使电动机转速能稳定在给定转

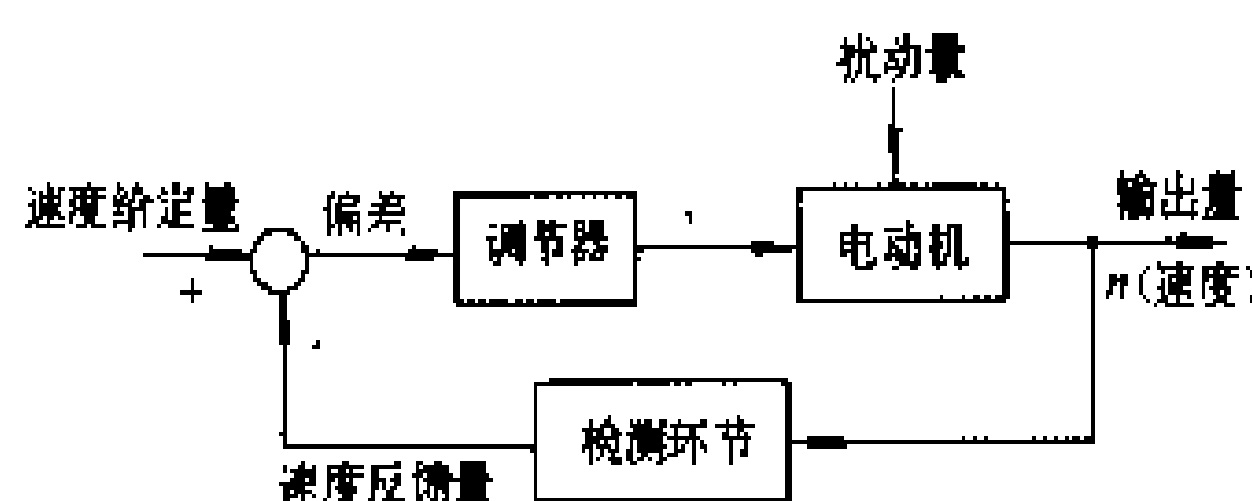


图2 单闭环调速系统原理框图



速下运行,使调速系统的静态指标大大提高。如调速系统采用PI(比例积分)调节器,不但可提高静态特性,还可保证动态稳定性。

多闭环调速系统 许多生产机械需要经常工作在起动、制动、反转的过渡过程中。单闭环调速系统不能起到控制电流的作用,如要快速起动,需在整个起动过程中具有理想的起动电流,并要求有能调节电流的环节,这样就构成了具有转速和电流负反馈的转速、电流双闭环调速系统,电流环在转速环内,又称串级调速系统。图3(a)为双闭环晶闸管不可逆直流调速系统的原理框图,其静态特性如图3(b)所示。在正常负载时,依靠速度调节器ST的调节作用,保证系统具有无静差的硬特性(近似地认为),这时电流调节器LT只起辅助调节作用;当电动机负载力矩过大

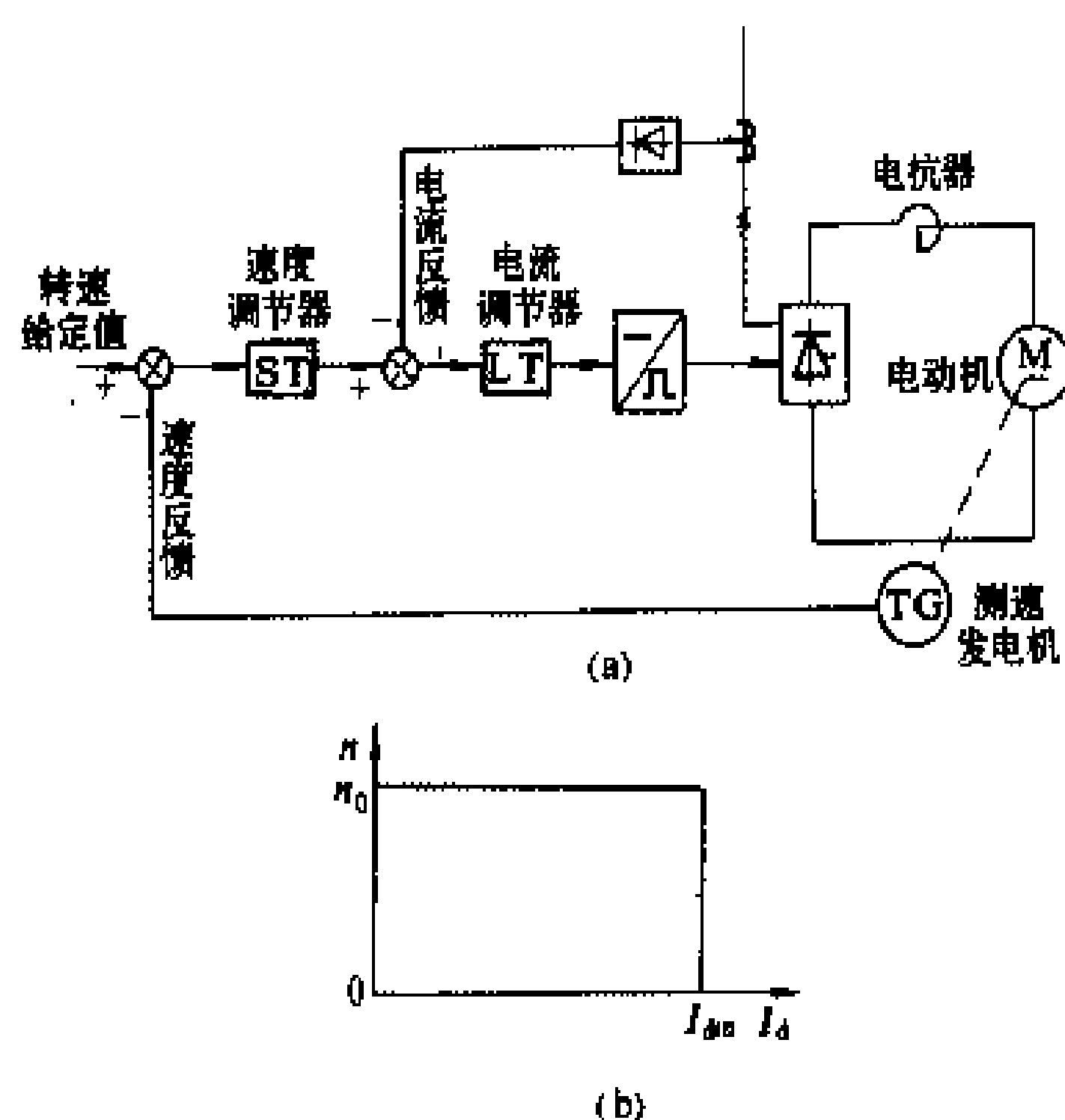


图3 转速、电流双闭环调速系统及其静特性
(a) 调速系统原理框图; (b) 静特性

时,ST输出进入饱和而失去调节作用,它仅为电流环提供一个最大电流给定值 I_{dm} ,在LT的作用下,系统处于恒流调节状态下运行。如起动过程中,ST在大部分时间内处于饱和状态,只有当转速超调后才退出饱和,从而保证整个起动过程中电流为最大,加速了起动过程。串级调节系统中,内环的响应速度比外环快得多,对于内环中的扰动量可即时抑制,提高了整个系统的抗扰动能力。除转速、电流双闭环调速系统外,还可构成电动势、电流双闭环调速系统或三闭环调速系统。

参考书目

- 顾绳谷,电机及拖动基础,北京:机械工业出版社,1981
W. 莱昂哈特著,电气传动控制,吕嗣杰译,陈伯时校,北京:科学出版社,1988

(黄继鹤)

zhiliu diandongji zhidong

直流电动机制动 (braking of DC motor)

将直流电动机电磁转矩的方向改变为与转子转向相反,以实现电机的停转或限速的方法。制动的目的是使电动机转子尽快地停转或由高速迅速转为低速或限制位能性负载的下降速度。

直流电动机的制动可分为能耗制动、反接制动和回馈制动。

能耗制动 将直流电动机运行时的动能消耗在外加电阻上,使其转子很快停止运转的方法。能耗制动的特点是操作简便,制动转矩可以进行调节,可使生产机械准确地停在某一位置;但低速时,制动转矩小,拖长了制动时间。为了使电动机更快地停转,可在低速时,再加上机械制动。能耗制动方法依被制动直流电动机是他励还是串励而有所不同。

(1)他励直流电动机制动。设原先处于电动运行状态,制动时保持励磁不变,将电枢两端从电源断开,并立即接到一制动电阻上,此时电动机由生产机械的惯性转矩拖动而发电,将生产机械贮存的动能转换成电能消耗在电枢回路电阻上,直到电机停转。制动电阻愈小,则制动电流和制动转矩愈大。能耗制动的机械特性如图1所示,改变制动电阻 R_b 的大小,可得到不同斜率的机械特性。为了避免过大的制动电流带来的不利影响,通常限制最大制动电流不超过2~2.5倍额定电流。

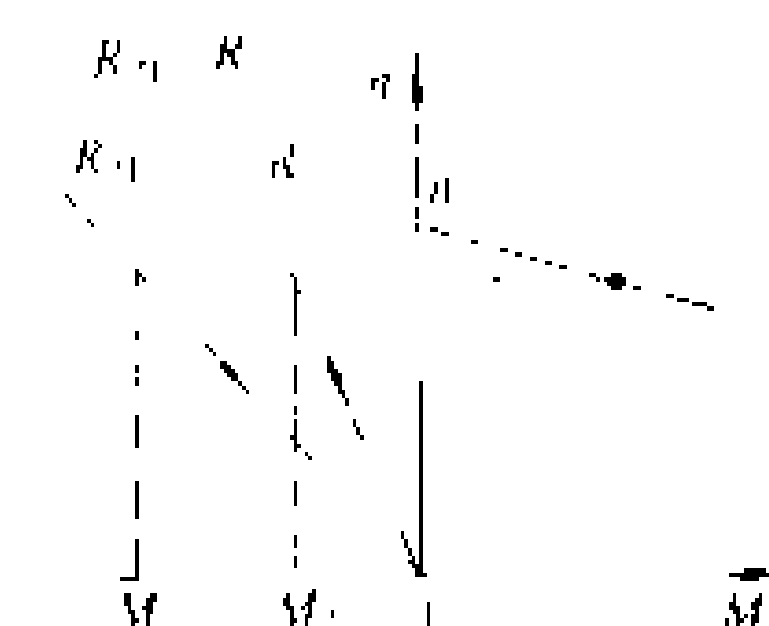


图1 他励直流电动机的能耗制动机械特性

(2)串励直流电动机制动。又可分为他励式和自励式两种。他励式串励直流电动机能耗制动时,只把电枢脱离电源接到制动电阻上,而把串励绕组接在电源上成为一台他励发电机,从而产生制动转矩。由于串励绕组电阻很小,必须在励磁回路串入限流电阻。他励式串励直流电动机能耗制动效果好,应用较广泛。自励式串励直流电动机能耗制动时,将电枢和串励绕组脱离电源后,一起接到制动电阻上,依靠电动机剩磁自励,成为串励发电机,从而产生制动转矩。为了使制动时的电流产生的磁通与剩磁方向一致,制动时必须将励磁绕组反接。自励式串励直流电动机能耗制动,开始时制动转矩大,随着转速的下降,电枢电动势和电流也下降,同时磁通也减小,使制动转矩很快下降,制动效果变差,但这种方法无需其他电源。

反接制动 反接制动可分为电枢反接制动和转速反向的反接制动。

(1)电枢反接制动。他励直流电动机制动时,应保



持励磁电流不变,改变运行电动机电枢两端外施电压的极性,使电压与电动势同方向,从而改变电枢电流和电磁转矩的方向,使电动机迅速减速直到停转。一旦电动机停转,应立即断开电源,否则电动机将反向起动。其机械特性如图2所示。

为了限制反接制动电流对电网电压的影响和过大的制动转矩对机械系统的冲击,反接制动时,必须在电枢电路串入附加电阻。串入的阻值,一般应使制动电流小于2.5倍额定电流。串励直流电动机实行反接制动时,应注意只改变电枢两端外施电压的极性,而保持励磁绕组极性不变,以保持电枢电动势的方向不变。

这种方法制动转矩较大,常用于制动频繁的传动系统中,但制动电流冲击较大,不容易自动地停转。

(2)转速反向的反接制动。这种方法适用于带有位能性负载的他励直流电动机和串励直流电动机。位能性负载如起重机提升与放下重物这类的负载,不论运

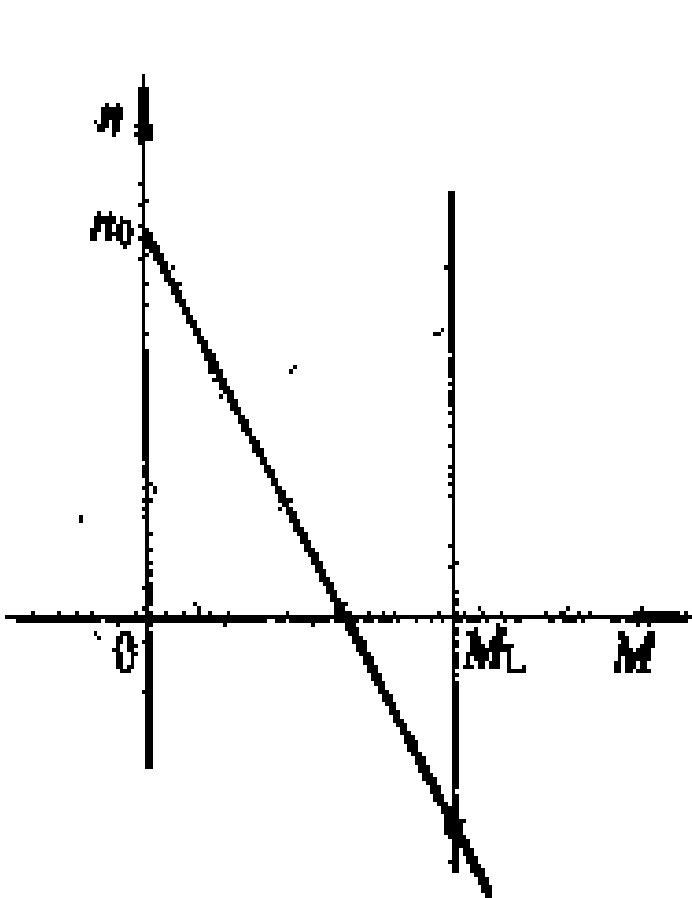


图3 他励直流电动机转速反向的反接制动机械特性

运动方向如何,重力作用总是向下的,重力转矩的方向总是不变的。制动时,在电枢回路串入较大的电阻,使电动机反转。由于电枢电流和磁通未改变方向,所以电磁转矩方向不变,它对电动机转子起制动作用。由于是负载拉着电动机运行,所以又称倒拉反转制动。图3所示为他励直流电动机转速反向的反接制动机械特性。实际应用中,都是从转子静止开始的,即串入电阻后再加电枢电压。

回馈制动 又称再生制动。电动机在电动状态运行中,由于某种因素,使电动机转速高于理想空载转速时,电动机便处于回馈制动状态。此时由于电枢电动势高于电源电压,电动机作为发电机运行,电流改变了方向,电磁转矩成为制动转矩。制动过程中,将机组的动能转变成电能回馈给电网,因此比较经济。

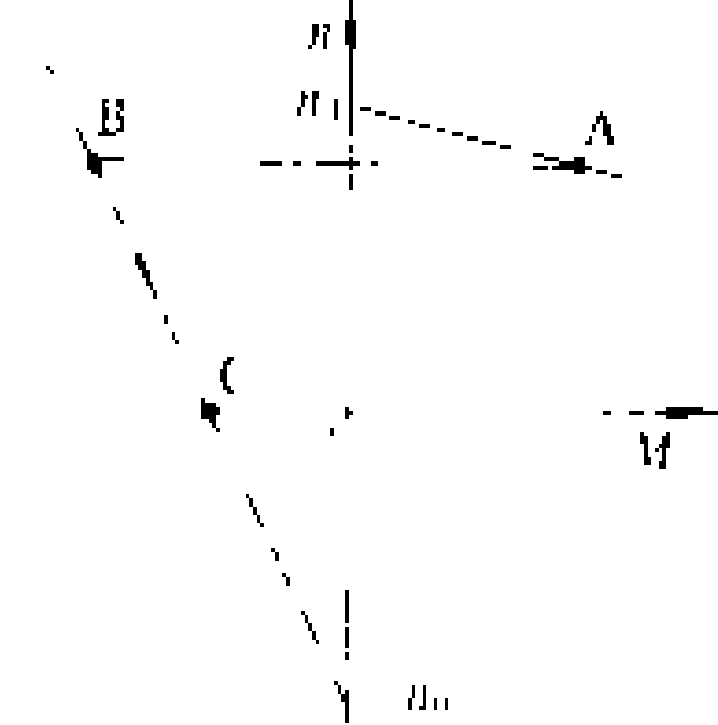


图2 他励直流电动机电枢反接制动机械特性

动方向如何,重力作用总是向下的,重力转矩的方向总是不变的。制动时,在电枢回路串入较大的电阻,使电动机反转。由于电枢电流和磁通未改变方向,所以电磁转矩方向不变,它对电动机转子起制动作用。由于是负载拉着电动机运行,所以又称倒拉反转制动。图3所示为他励直流电动机转速反向的反接制动机械特性。实际应用中,都是从转子静止开始的,即串入电阻后再加电枢电压。



图4 他励直流电动机回馈制动的机械特性

这种制动常出现在由直流电动机拖动的电力机车下坡或调压调速过程中。其机械特性如图4所示。

由于串励直流电动机的理想空载转速为无穷大,所以它不可能采用回馈制动,要实行回馈制动,必须改为他励运行。

(叶东)

zhixian diandongji

直线电动机 (linear motor) 一种将电能直接转换成直线运动的机械能的电动机。直线电动机可用于驱动需作直线运动的机械,例如机械手、导弹发射装置、液态金属电磁泵,起重吊车、传送带及高速列车等。

基本结构和主要类型 有静止部分和可动部分,其间有气隙。静止部分称为静子,可动部分称为动子。电动机工作时,由于静、动子之间有相对运动,为使两者能够相互作用,长度不能做成相等,其中至少有一个长度等于工作所要求的整个行程的长度。可以是短静子长动子,也可以是长静子短动子。

从原理上看,直流电动机、同步电动机和异步电动机都可做成直线电动机。但由于异步电动机只需要向静子供电、结构简单、使用方便、运行可靠,所以实际上大多采用直线异步电动机,只有在总的行程很短时才采用直线同步电动机和直线直流电动机,如在仪器仪表中用的电动机。

直线异步电动机有平面型和管型两种结构型式。平面型直线电动机的静子和动子在气隙中的工作而都是平面,且多做成短静子。动子仅一边有静子的叫单边型,两边都有静子的叫双边型。管型直线电动机的静子是圆管形,动子是一根厚壁圆钢管。由于其动子完全包在静子中间,所以散热条件较平面型的差。

直线直流电动机由一套磁极和一组绕组构成,分为有刷型和无刷型两种。绕组中的电流通过电刷和换向器引入的,称刷型;直接用导线引入的,称无刷型。从结构上还可分为动极式和动圈式两种。

工作原理 与相应的旋转电动机相似,在电磁力的作用下,动子带动负载移动。在直线异步电动机中,当静于多相绕组接上电源后,气隙中产生一个行波气隙磁密,该磁密切割动子的导体,在导体中感应产生电动势及电流,载流导体在磁场中受电磁力,该电磁力推动动子沿行波气隙磁密移动方向面移动。在直线直流电动机中,由直流供电,产生的作用力与电枢电流成正比,速度与电枢电压成正比。

发展简史及趋势 直线电动机已有很长的发展历史。从20世纪初到40年代一直有人设法把它用于生产,但都未获得成功。50年代随着核动力的发展,产

生了用直线电动机原理作抽吸反应堆中热传送体——液态钠钾混合物的电磁泵。60年代以来随着超高速陆地运输系统的需要,结合气垫技术或磁悬浮技术,用直线电动机驱动的高速列车的速度可达500 km/h,这是最有前途的动力方案。近年来关于直线电动机的理论也有较大的发展,预计直线电动机将会有广泛的发展前景。

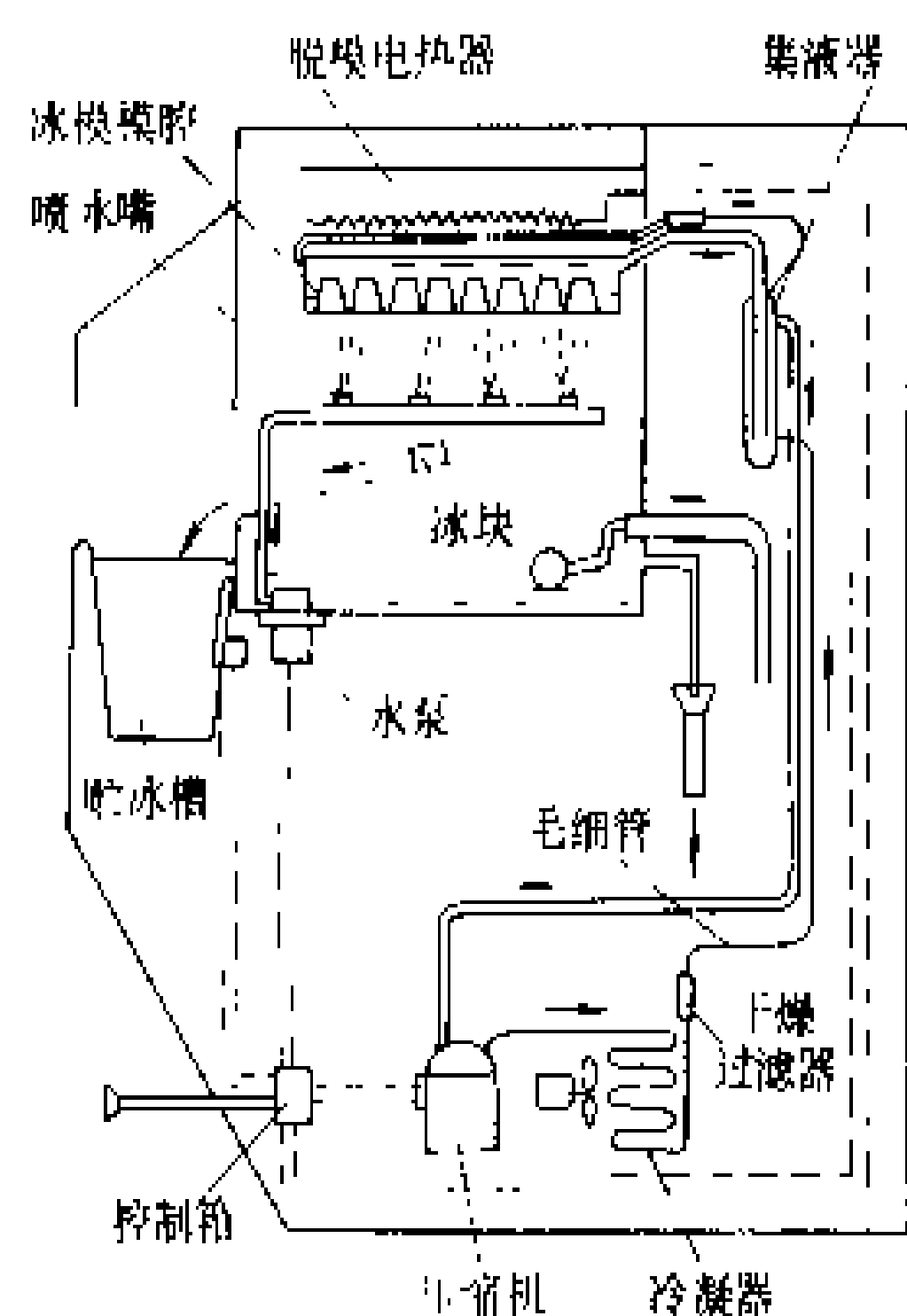
(金啟玖)

zhibingji

制冰机 (ice cube maker) 一种带有制冷系统、以电为动力制作食用冰块的制冷器具(见家用电器)。制冰机的制冰能力以24 h制冰的千克数来表示。通常,制冰能力40 kg/日以下的为小型制冰机;40~110 kg/日的为中型制冰机;110 kg/日以上的为大型制冰机。一般,每一冰块重25 g左右。

按照冰块的成形方式,分为冰模成形式制冰机、螺旋送进式制冰机和板状冰式制冰机。

冰模成形式制冰机 制冰时,水泵从水槽吸水,通过均匀分布的喷水嘴,将水从下向上喷洒在倒置的冰模模腔(蒸发器)内(见图),使部分水冻结在冰模上,另一部分水回流到水槽中。经过不断喷水、结冰,冰模中的冰层厚度逐渐增加,当冰模结满冰时,时间继电器动作,断开压缩机和水泵电源,脱模电热器电源接通,对冰模加热,使冻结在冰模内的冰块表面融化,并在重力作用下,自动落入贮冰槽中。然后,时间继电器按照预先设定的时间断开脱模电热器电源,并接通压缩机和水泵电源,再次开始制冰。冰模成形式制冰机体积小,制冰效率高,但是,这种制冰机的蒸发器结构及供水系统比较复杂。



冰模成形式制冰机制冰原理

在冰模内的冰块表面融化,并在重力作用下,自动落入贮冰槽中。然后,时间继电器按照预先设定的时间断开脱模电热器电源,并接通压缩机和水泵电源,再次开始制冰。冰模成形式制冰机体积小,制冰效率高,但是,这种制冰机的蒸发器结构及供水系统比较复杂。

螺旋送进式制冰机 其蒸发器为螺旋筒状,当电动机带动减速机构使螺旋缓慢转动时,供水系统提供的净水也同时被螺旋向上推进,并在推送过程中逐渐被冷却而冻结。到螺旋筒的最上端,水被冻成硬冰,通过切割机构,将硬冰切割成冰块。螺旋送进式制冰机结构复杂,但制冰效率很高。

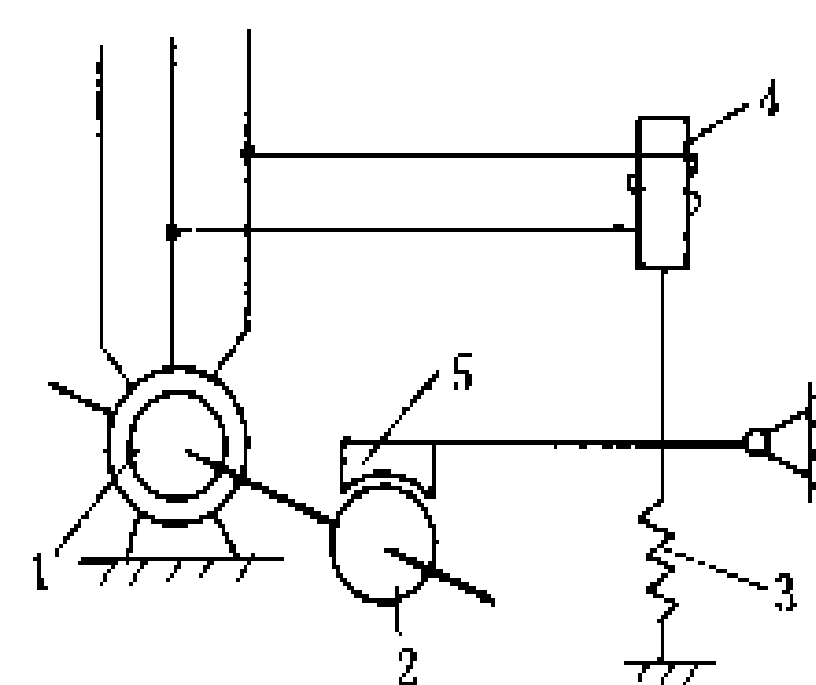
板状冰式制冰机 制冰原理与冰模成形式制冰机相同。它采用平板式蒸发器制作板状冰。当冰块厚度达到规定值时,利用压缩机排出的高温高压制冷剂气体使冰板表面融化,继而滑落到电热丝切割栅中,被切割成冰块。板状冰式制冰机供水制冰系统较简单,使用维修方便,所制冰块透明度高。

(张友良)

zhidongqi

制动器 (brake) 在机械或电气传动装置中用作机械制动的电器。它能使传动设备准确减速或停车。制动器按机械结构可分为块式和带式制动器;按驱动方式可分为电磁式和液压式制动器;按电源性质可分为交流和直流制动器。

块式制动器,又称弹簧抱闸。它由制动瓦块、弹簧、电磁铁及其他机械传动机构组成。块式制动器工作原理



块式制动器工作原理图

1—电动机;2—制动轮;3—制动弹簧;4—制动电磁铁;5—制动瓦块

原理如图所示。当电动机通电时,电磁铁也通电,其衔铁克服弹簧的拉力向上运动,使制动瓦块离开制动轮而松闸。当电动机断电时,电磁铁因同时失电而释放衔铁,在弹簧作用下,制动瓦块迅速向下运动,从而压紧制动轮使电动机制动。块式制动器结构简单,适用于中、小型机械的制动。

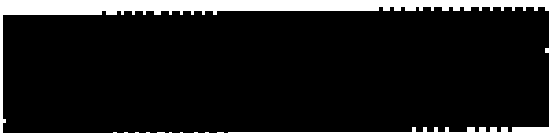
带式制动器,又称皮带抱闸。其动作过程与块式制动器相似,所不同的是它用收紧皮带的方法进行制动。一般带式制动器产生的制动力矩较大,所占空间也大,故多用于大、中型机械的制动。

液压制动器是一种用浸于油中电磁铁的电磁线圈通电后,动铁芯(衔铁)的吸力推动推杆驱动活塞运动,通过油道使油增压从而使制动瓦块动作的制动器。由于其运动部件浸于油中,润滑条件好,动作平稳,制动力矩和行程可以调节,因而普遍地应用于负载惯性较大的机械的制动,并且运行噪声小,机械磨损小,寿命长。

(甘愿云 方鸿发)

zhongyao fuhe

重要负荷 (important load) 用户的用电设备在用电过程中,由于某种原因而突然失去电源,使供电的连续性遭到破坏的现象,称为中断供电。不同用电性质的负荷中断供电引起的后果是不一样的。凡中



断供电有下列后果之一者称为重要负荷：

- (1) 中断供电将造成人身伤亡者；
- (2) 中断供电将造成环境严重污染者；
- (3) 中断供电将造成重要设备损坏，连续生产过程长期不能恢复者；
- (4) 中断供电将在政治上造成重大影响者。

此外，还有如中断供电将使重要交通枢纽干线受阻，重要城市水源、通信、广播中断者。

凡具有以上负荷之一的用户统称为重要用户，对重要用户的重要负荷应设置备用电源。

(郝士茹)

zhuling dianqi

主令电器 (master switch) 用来接通、分断及转换控制电路，并发布控制命令的低压电器，又称主令开关。主令电器主要由触头系统、操作机构和定位机构组成。由于它所转换的电路为控制电路，触头的工作电流不大，因此结构尺寸及操作力都不太大。主令电器的种类繁多，例如用于各种机械、电气设备的起动按钮、停止按钮（见按钮），起重机、龙门刨床中的行程开关、限位开关，电梯控制中常用的接近开关，冶金轧钢及起重等电气设备中常用的主令控制器等（见控制器）都属于主令电器。

(方鸿发)

zhubei dianchi

贮备电池 (reserve battery) 使用时注入电解液、加热或充氮等才能放电的一次性使用的化学电源。贮备电池的最大特点是装配好的电池中不装电解液或电解质是干燥的，因此，没有离子导电通道，没有形成电化学成流体系，使用时，必须进行激活才能发生变化学能为电能反应。借助动力源（高压气体或热能）注入电解质溶液、或注入溶剂使固态电解质溶解，或加热使固态电解质熔融，建立起离子导电通道的过程称为激活，又称活化。

贮备电池的负极活性物质为镁、锌、钙等金属。正极活性物质为氯化银、氧化铜、氧化银、铬酸钙、氧化钒等。电解质为氯化钠、氢氧化钾、氯化锂和氯化钾的混合物等。激活方式有自动激活和人工激活两种。贮备电池有水（海水）激活电池、电解质激活电池、加热激活电池、气体激活电池等类型，适用于不同的使用场合。

贮备电池的工作电压为 1.4~40 V；比能量为 30~80 W·h/kg；激活时间为 0.5~1 s；贮存期为 5~15 年。

贮备电池最突出的优点是非激活状态下的贮存寿

命长并且不需维护，激活速度快，随时可以使用，输出功率大。缺点是不能像蓄电池那样可预先检验其性能，有失误的危险；结构质量所占的比重较大，使电池组输出的比能量与同一体系的其他电池相比要低 75% 左右。贮备电池适于作火箭、导弹、鱼雷、炮弹、炸弹等的电源，也可用作应急电源。

(崔淑玉)

zhuancha pinlu kongzhi sudu bihuan bianpin tiaosu

转差频率控制速度闭环变频调速 (variable frequency AC motor speed control by slip - frequency control with speed closed - loop)

利用转差频率控制定子电流和供电频率实现交流电动机变频调速的技术。这是感应电动机变频调速的一种特有的方法。

控制原理 如果感应电动机在小转差频率下工作，可认为转子回路功率因数等于 1，转子电流可近似写为

$$I_2 \approx \frac{sE_1}{r_2} = \frac{f_r}{f_1} \frac{E_1}{r_2} \propto \Phi_m f_r \quad (1)$$

式中 f_r 为转差频率； f_1 为定子供电频率； E_1 为定子绕组电动势； r_2 为转子回路电阻，对笼型感应电动机为一定值； Φ_m 为气隙磁通。式 (1) 说明：如果使转子电流与转差频率成正比地变化，则磁通可保持不变。同时，在小转差频率下，电磁转矩为

$$M \approx C'_M \Phi_m I_2' \propto \Phi_m I_2' \propto \Phi_m^2 f_r \quad (2)$$

式中 C'_M 为转矩常数。式 (2) 表明：只要保持磁通不变，电磁转矩则正比于转差频率。控制转差频率即可调节电磁转矩，从而调节电动机的转速。总之，可以用转差频率作为转矩的给定值，同时控制励磁电流，使气隙磁通保持不变。感应电动机的励磁电流是定子、转子电流合成磁通势的等值电流，而笼型感应电动机转子电流是无法控制的，因而只能通过单独控制定子电流来保持励磁电流不变，即保持恒定磁通。由于转子电流和转差频率成正比，在励磁电流一定的条件下，定子电流和转差频率也就存在着一近似的线性关系，因而可通过转差频率信号按这种近似线性关系控制定子电流，从而实现恒磁通调速。当然，也可以实现恒功率调速等其他运行方式，此时定子电流与转差频率之间的关系将发生相应的变化，在调速过程中，应控制定子电流满足这种新的关系。

控制系统 常用的转差频率控制速度闭环变频调速是交流-直流-交流电流型变频器-感应电动机转速闭环调速系统，其框图如图所示。速度给定值 ω_s 与测速发电机反馈的实际转速信号 ω 相比较，其差值信号 $(\omega_s - \omega)$ 通过转差调节器产生绝对转差信号 ω_r ($\omega_r =$

应用于要求高性能转速控制的场合，但仍不如响应特性良好的矢量控制调速系统（见交流电动机矢量控制）。

许大中，贺益康编。电机的电子控制及其特性。北京：机械工业出版社，1988

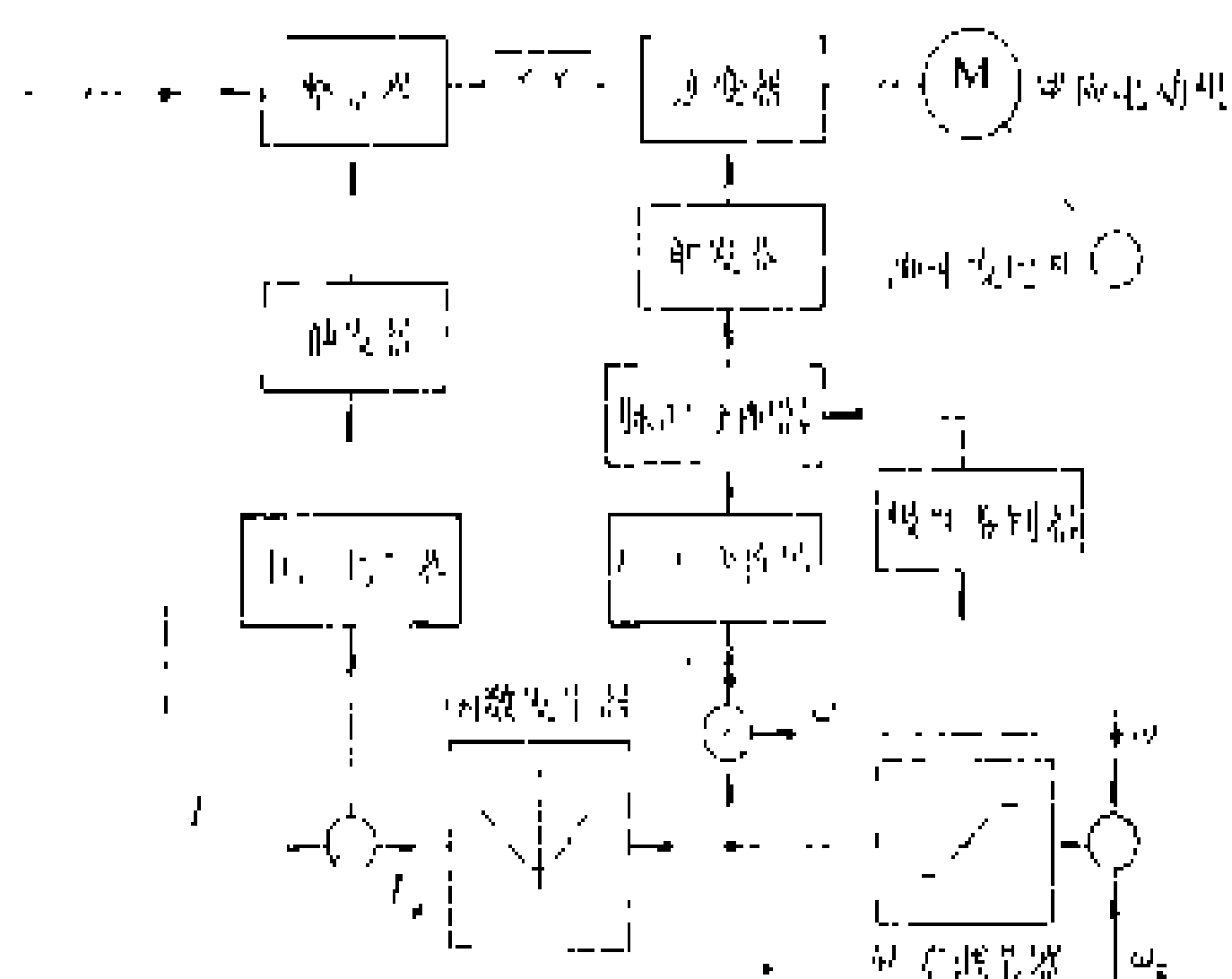
(施傳立)

转速控制 (shaft speed control) 能实现电动机加速、减速、起动、制动、正转、反转的技术。为满足生产机械的需要,电动机运行必然涉及到起动、加速、减速、制动、正转、反转控制的实现问题。归结起来,这些都是一个转速控制的问题。

原理 电动机之所以能在某一转速下稳定运行,是由于该转速下电动机的电磁转矩与负载转矩(包括生产机械的阻力转矩和电动机本身的空载阻力转矩)相平衡。其电磁转矩的作用方向与电动机转子旋转方向相同,是驱动转矩;负载转矩的作用方向与电动机转子旋转方向相反,是制动转矩。为实现转速控制,必须改变电磁转矩与负载转矩相平衡的状态。这种改变总是从控制电动机入手,以适应生产机械(负载)的需要,即控制电动机的电磁转矩来实现转速控制。

当电磁转矩为驱动转矩,负载转矩为制动转矩,且电磁转矩大于负载转矩时,电动机将加速。加速的快慢完全取决于两转矩差值的大小,这种加速过程一直到它们重新达到新的平衡时为止,电动机将在加速后的某一新的速度下稳定运行,从而实现加速控制。当电磁转矩为驱动转矩,负载转矩为制动转矩,且电磁转矩小于负载转矩时,电动机将减速。减速的快慢完全取决于两转矩差值的大小,这种减速过程也一直到它们重新达到新的平衡时为止,电动机将在减速后的某一新的速度下稳定运行,从而实现减速控制。

当电动机转子处于静止状态，电动机接通电源施加驱动性质的电磁转矩，且其数值又大于具有制动转矩性质的负载转矩，电动机转子将离开静止状态而加速。加速的快慢仍取决于两转矩的差值，一直加速到两转矩处于平衡时为止，电动机将在该速度下稳定运行。电动机转子从静止状态到稳定转速的升速过程，称电动机的起动过程。起动过程的快慢由起动时间来衡量。电动机的起动控制即意味着实现起动和控制起动时间。当电磁转矩变为制动转矩（方向与电动机转子转向相反），负载转矩也是制动转矩时，将迫使转子很快减速，直到转子停止为止。如果负载转矩变为驱动转矩（如重物下放等），速度变化过程将延续到两转矩重新处于一种新的平衡时为止，电动机将处于稳定的制动



转差频率控制变频调速系统框图

在转差频率控制系统中，应特别注意转差频率测量的准确性。由于转差频率值是转矩的给定值，如测量值偏小或偏大，将导致 U/f 比值变化，使电动机负载能力降低或磁路过饱和，对控制系统都是不利的。

应用 由于转差频率控制速度闭环变频调速能保证电动机在小转差率下工作, 调速系统可以在高功率因数、小转子电流、低转子损耗下获得最大的电磁转矩; 在稳定时可以实现无差调节, 有着优良的静态特性; 急剧的动态变化过程中可以以最大转矩作为动态转矩自动实现四象限运行, 也即有着良好的动态性能。总之, 它可以得到与晶闸管直流调速双闭环系统相近的静态和动态特性, 是一种高性能的调速方法, 因而可

运转状态（发电机作用）。

电动机正常运行时转子的转动方向由电磁转矩的方向所决定。直流电动机的电磁转矩方向由电枢电流的方向和励磁磁场的方向共同决定，只要改变其中一个量的方向，就可改变电磁转矩的方向，从而改变直流电动机转子的转动方向，即实现直流电动机正、反转控制。交流电动机的电磁转矩方向由电动机的供电电源相序决定。如果相序为 A—B—C，则电磁转矩和转子转动的方向为从绕组 A 轴线至绕组 B 轴线、绕组 C 轴线的方向；如果相序为 A—C—B，则电磁转矩和转动方向与上相反。因此，只要改变供电电源相序，即可改变交流电动机的转向，实现其正、反转控制。

分类 生产机械种类很多，但根据工作机械对转速控制的要求，转速控制可分为有静差调速、无静差调速、可逆调速、不可逆调速、稳速控制和宽调速控制。

(1) 有静差调速。调速的精度系用静差率（又称静差度或相对稳定性）来表示，它说明负载转矩发生变化时，电动机转速随之变化的程度，具体表示为：电动机在某一机械特性（转矩-转速特性）上运行时，额定负载转速与理想空载转速之差值和理想空载转速之比以百分数表示的值（见电动机调速）。图 1 所示为直流传动的有静差调速系统，控制系统中控制电压是由给定量和反馈量比较后的偏差电压经比例放大（比例调节器作用）而得，这时只能依靠输出量与给定量的偏差来调节，故称为有静差调速。它适用于对调速精度要求不高的场合，其静态指标通常设计为：调速范围小于或等于 20，静差率大于或等于 10%。

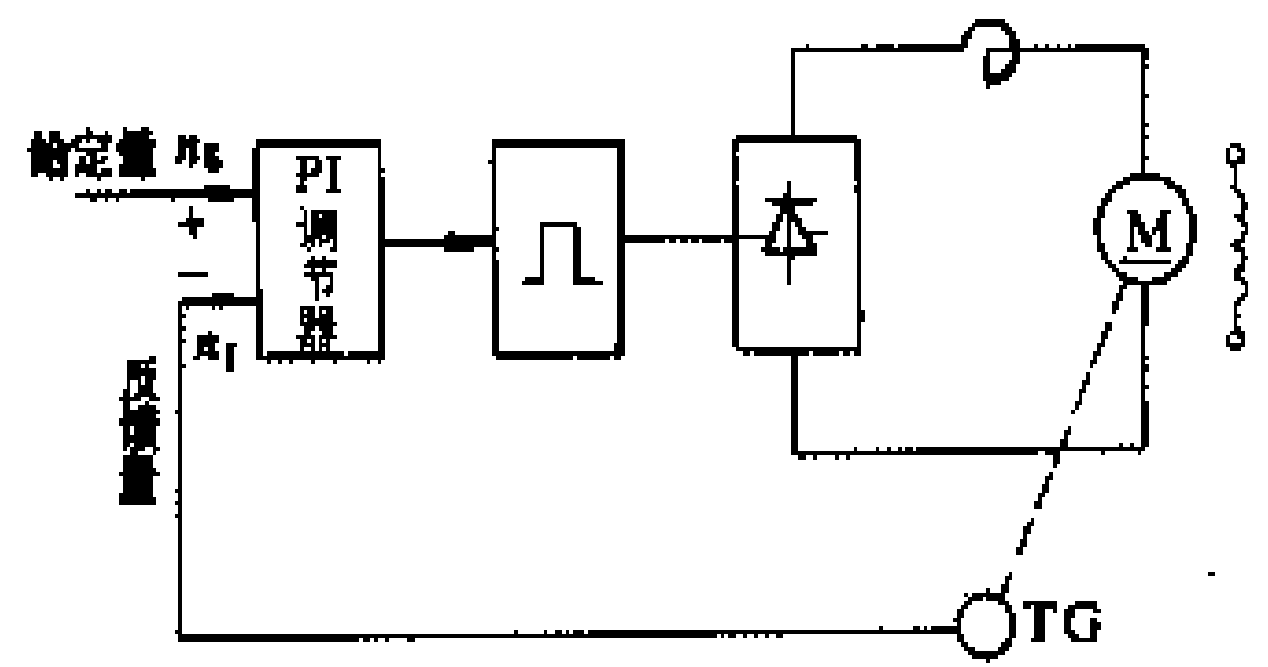


图 1 有静差直流调速系统

(2) 无静差调速。控制系统中控制电压是由给定量和反馈量比较后的偏差电压经积分放大（比例积分调节器作用）而得，当偏差电压为零时，对应的控制电压为定值，从而确保电动机转速等于给定转速，实现无静差调速。它可以应用于对静差率要求小于或等于 10% 的场合。图 2 示出了直流传动的无静差调速系统，其中的 PI 调节器为比例积分调节器。

(3) 可逆调速。在实际生产中，有许多生产机械不仅要求电动机能够启动和平稳调速，有时还要求电动机能够快速反转和停车，如龙门刨工作台的往返运动，电力机车的前进、后退，纺织印染生产中的探边机构

等。电动机的这种快速正反转运行称为可逆运行。实现电动机可逆运行的调速系统称可逆调速。图 3 所示为用晶闸管切换的直传动可逆调速原理接线图。该线路系采用改变电枢电流方向实现电动机的可逆调速。

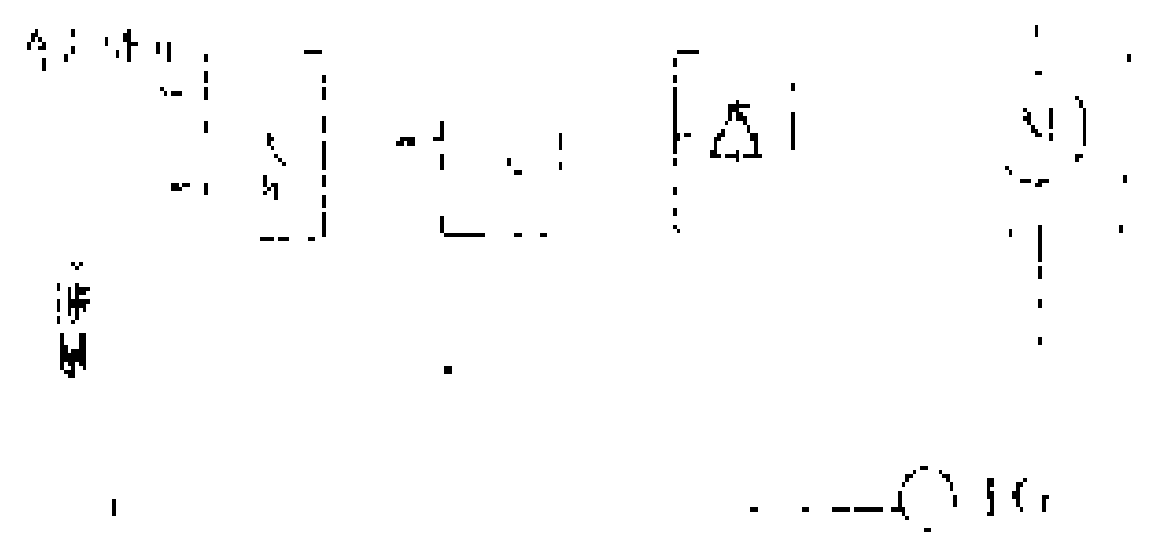


图 2 无静差直流调速系统

(4) 不可逆调速。只能实现电动机单方向运转的调速。它只适用于单方向运转的工作机台的生产机械。

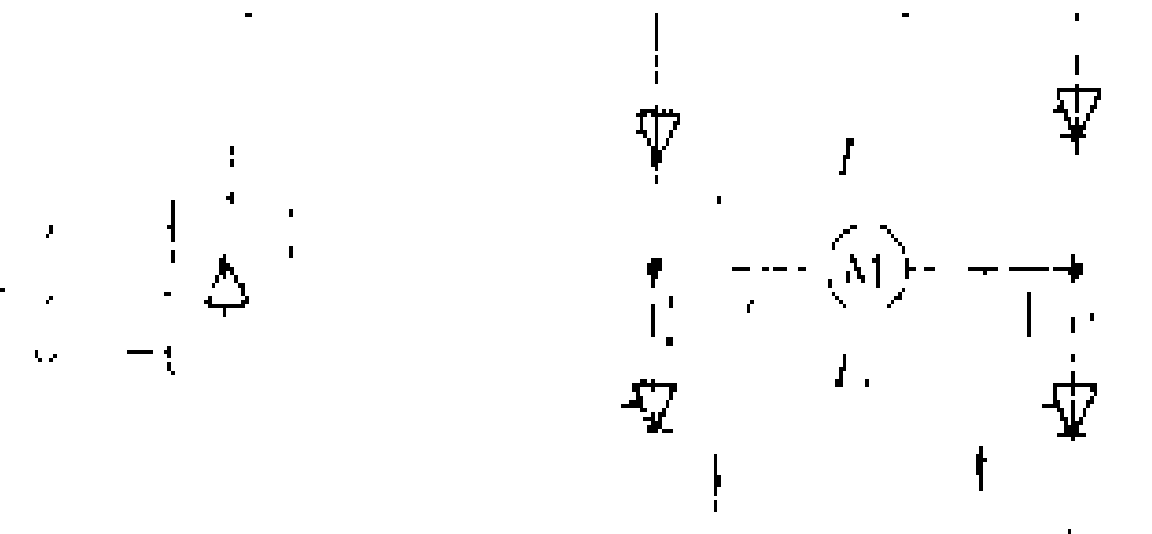


图 3 用晶闸管切换的直传动可逆调速原理接线图

(5) 稳速控制。某些生产机械要求在各种扰动下以一定的稳速精度长期稳速运行时的电气传动控制。例如中型抄纸机、风洞、橡胶压延机等要求的稳速精度为 0.2%~1%；高速纸机、微电机测试设备、超音速风洞等要求的稳速精度为 0.1%~0.01%。

(6) 宽调速控制。生产机械在额定负载下要求的运行速度有最高转速和最低转速，两者之比称为调速范围（又称调速比）。不同的生产机械，对调速范围的要求也不同，如中型和大型龙门刨床主传动要求的调速范围为 10~20，进给传动调速范围为 30~50；中型和大型外圆磨床主传动要求的调速范围为 10~20；中型和重型立式车床主传动要求的调速范围为 50~1000 或更大，进给传动要求的调速范围为 1000 或更大；轧钢机要求的调速范围为 3~120；印染机要求的调速范围为 3~10，造纸机要求的调速范围为 3~20 等。当要求的调速范围大于 100 以上时，称宽调速控制。

（施传立）

zhuansu mofa kongzhi

转速模拟控制 (analog speed control)

采用以模拟量给定和模拟量反馈实现电动机稳速控制的技术。模拟量是指在时间上和数值上都连续的信号量。对于电动机的闭环稳速控制系统，如其转速给定量和转速反馈量都是模拟量（电压量），用两者的差值通

过运算放大器构成的调节器去控制功率部件,从而控制电动机的转速,则构成转速模拟稳速系统。直流传动和交流传动都可构成转速模拟控制系统。

直流电动机转速模拟控制 直流传动系统的任务是使直流电动机转速保持恒定或者以足够高的精度跟随输入量变化,与此同时,还需要把电枢回路内的电流限制在一个可以整定的最大值上,以防止在动态运行时控制装置和电动机承受不允许的负载。用于直流传动的转速模拟控制的单闭环调速系统如图1(a)所示。采用PI调节器的单闭环系统的电流截止环节只有限制起动电流的功能,不能起控制电流的作用。用于直流传动的转速模拟控制的双闭环调速系统,即转速-电流双闭环调速系统或称串联调速系统,如图1(b)所示。外环(速度调节环)实现对转速的调节;内环(电流调节环)实现对电流的调节。双闭环系统可以使起动进程中的电动机具有最大起动转矩。对于不允许按最大电流起动的系统,应在给定信号后加设给定积分器,如图1(c)所示,给定积分器将阶跃输入信号变为斜坡函数输出,从而可限制直流电动机的加(减)速度,也可使电动机的加(减)速动态电流自动地按给定积分器的限幅特性所要求的函数而改变。这些控制系统中的给定量和反馈量都是模拟量,故它们都属于转速模拟控制。

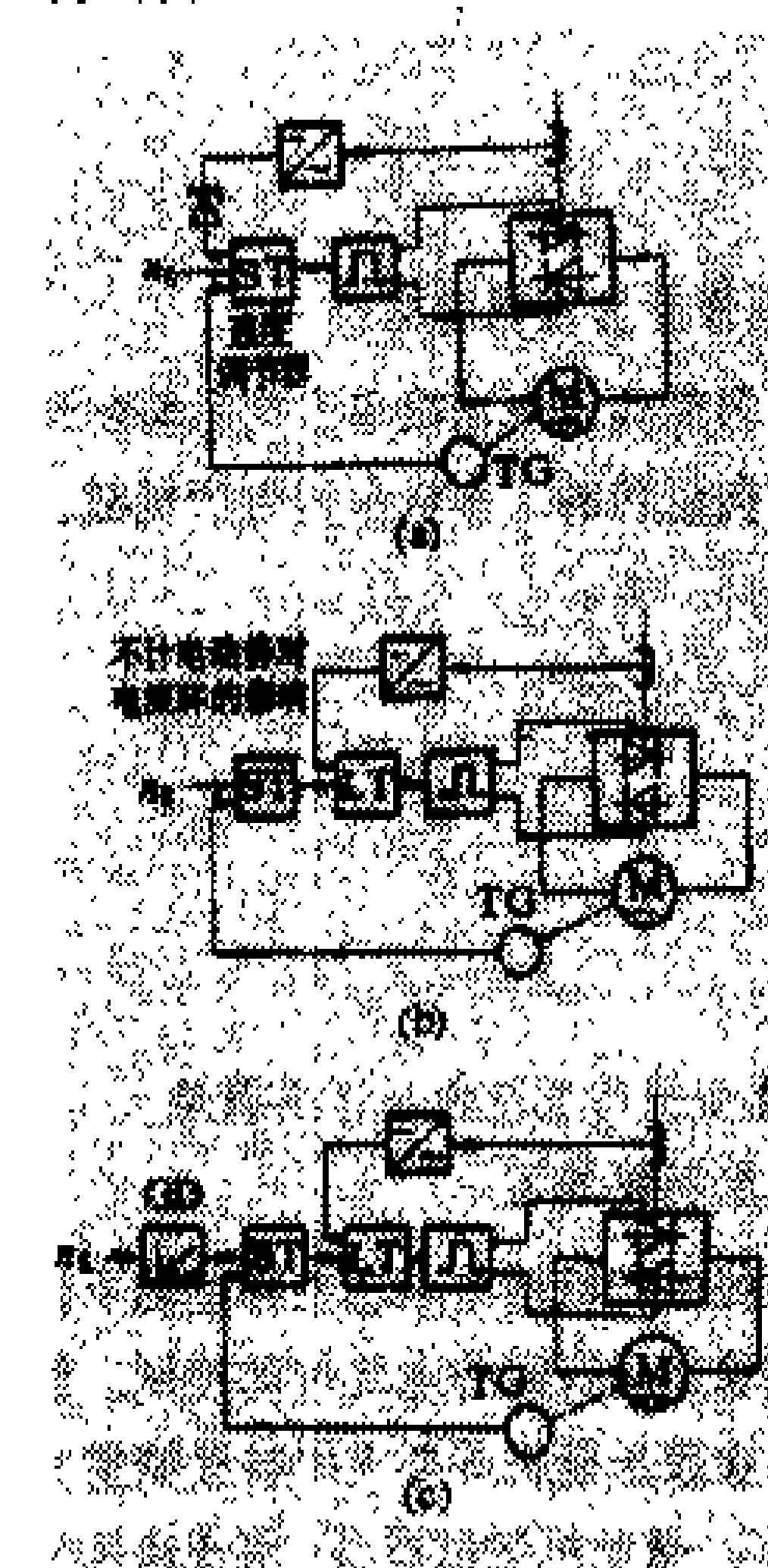


图1 直流传动转速模拟控制系统

(a) 单闭环系统; (b) 转速-电流调节系统(按最大电流起动); (c) 转速-电流调节系统(按一定电流起动) ST—速度调节器; LT—电流调节器; TG—测速发电机; GD—给定积分器

后加设给定积分器,如图1(c)所示,给定积分器将阶跃输入信号变为斜坡函数输出,从而可限制直流电动机的加(减)速度,也可使电动机的加(减)速动态电流自动地按给定积分器的限幅特性所要求的函数而改变。这些控制系统中的给定量和反馈量都是模拟量,故它们都属于转速模拟控制。

交流电动机转速模拟控制 具有速度调节回路及其内部电流调节回路的交流传动转速模拟控制与直流传动转速模拟控制系统是类似的。图2所示为用于感应电动机电压控制的转速模拟控制系统,图中 n_g 为速度给定值。调节装置的调整要尽可能使动态特性很少受参数与工作点之间关系的影响,以实现快速动态传动。对于动态性能要求较高的三相感应电动机频率控

制系统,包括交流-交流直接变频调速、交流-直流-交流电压型变频调速、交流脉宽调制变频调速、转差频率控制速度闭环变频调速、交流电动机矢量控制等系统的基本接线都可采用模拟控制。

同步电动机的转速控制系统,如自控式系统,可以获得与直流电动机相同的动态运行性能(见无换向器电机调速),其控制系统如图3所示。

模拟信号处理装置 构成转速模拟控制系统的模拟信号处理装置主要有测量装置、给定装置和调节器。

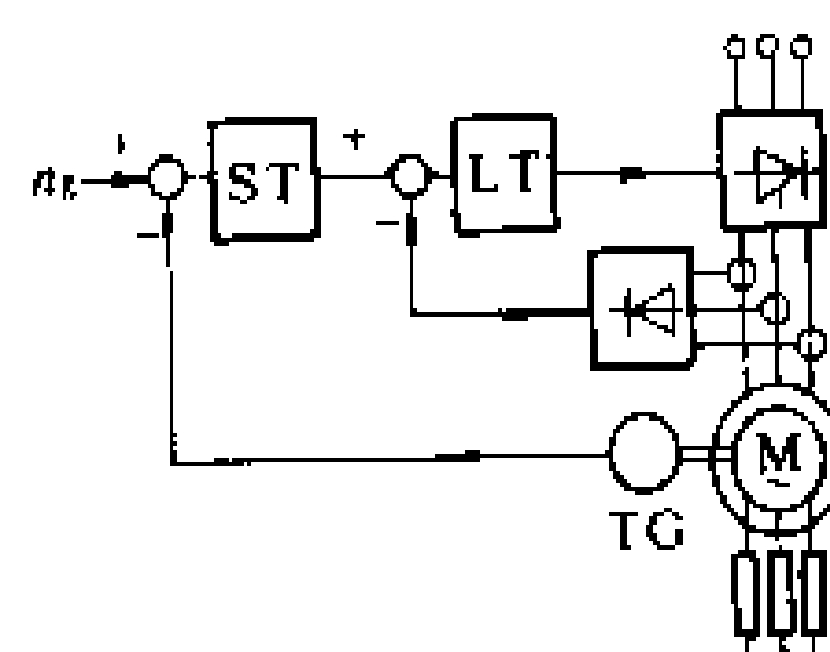


图2 感应电动机电压控制系统
 n_g —速度给定; ST—速度调节器; LT—电流调节器; TG—测速发电机

(1) 测量装置。对调速系统的测量主要包括转速(或位移、转角)、电流、电压等量的测量。转速测量可应用永磁式直流测速发电机、多相中频测速发电机、两相异步测速发电机、电动势测速桥等。其中前三种是测速发电机,它们在机械、电及磁的

对称性方面有很高的要求,否则会使输出电压产生高次谐波。永磁式直流测速发电机由于其精度较高、线性度较好,而且输出功率大,因而得到了广泛的应用。多相中频测速发电机是根据磁阻原理构成的,其定子输出三相或五相等交流电压后经整流和滤波各作为直流测量信号,其输出电压波动小,线性工作范围宽。两相异步测速发电机,特别是杯形转子异步发电机应用广泛,其惯性极小,适

合于小功率系统。两相异步测速发电机的励磁绕组经过电容器接至50~400 Hz的交流电网,另一个绕组输出具有励磁频率的交流电压,经过相敏整流和滤波后得到与转速成比例的直流电压。第四

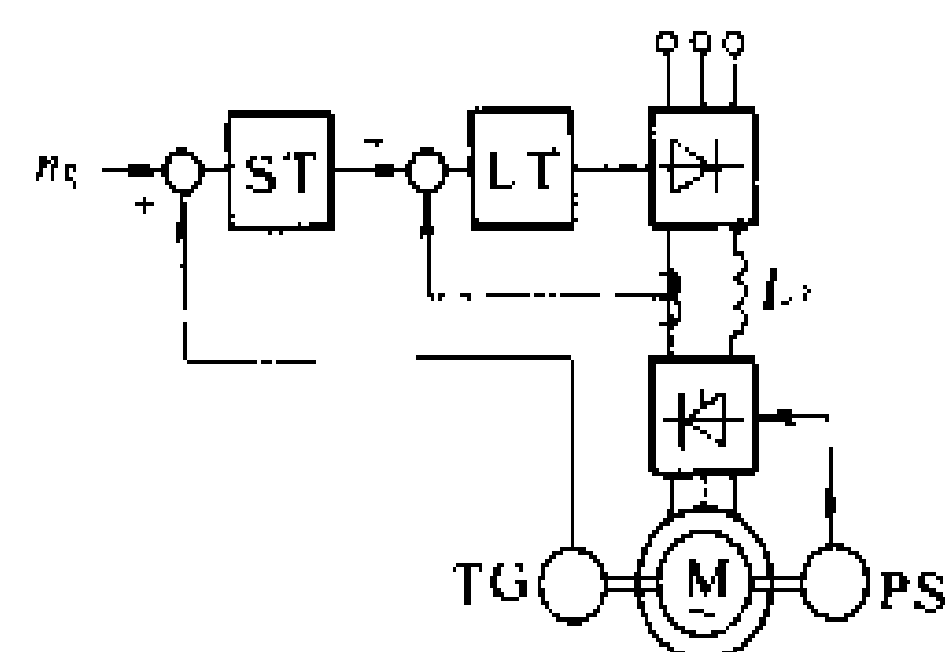


图3 自控式同步电动机频率控制系统

TG—测速发电机; PS—位置传感器; ST—速度调节器; LT—电流调节器; n_g —速度给定

种测速装置为不采用测速发电机的电动势测速桥,它通过测量电动机的电动势来测量转速,这种方法的传递系数较小,测量精度较低,测量电路与功率电路又无电位隔离,只适于要求精度不高的小容量电动机及不宜安装测速发电机等场合下应用。角度测量可以采用旋转电位器、自整角机等,为提高角度传输装置的精



度，可采用具有粗读数和精读数的双通道传输角度的方法。

电压测量的最简单方法是采用电位器（测直流电压）或变压器（测交流电压）。如果要求隔离测量直流电压，可采用电压隔离器。直流电流的测量可采用直流变换器、交流变换器、带有霍尔发送器的直流变换器及测量电阻。直流变换器对测量信号有放大作用，但其工作范围有限。交流变换器不需要有辅助电源，但只有在交流电流与直流电流成比例的情况下，才能用交流值代替直流值，并需进一步将所测交流整流为直流；带有霍尔发送器的直流变换器可用于测量很大的电流，但霍尔元件对机械因素较敏感，且需加电子放大器输出；测量电阻没有惯性和谐波，但测量电路和主电路有电的联系，可用于快速调节的传动系统。

(2) 给定装置。给定装置的任务是将稳定性好、可调的或按一定规律变化的信号输入到控制系统中作为给定信号。给定装置可采用自动稳压电路给定、自整角机给定、积分给定、带运算放大器的积分给定等。一般的模拟控制系统可采用自动稳压电路给定，中、小功率中常采用自整角机给定，在电动机的起动、制动等过程中不希望给定信号作阶跃变化时可采用积分给定，希望改变给定电压变化速度的较复杂的积分给定带有运算放大器。

(3) 调节器。调节器是一种带有校正网络的放大器，通过调节器的作用可以改善拖动系统的品质。常用的调节器有比例（P）调节器、积分（I）调节器、比例积分（PI）调节器、比例微分（PD）调节器、比例积分微分（PID）调节器等。在很多场合下要求采用PI调节器，它是在运算放大器反馈回路中串入电阻 R_1 和电容 C_1 ，如图4所示。运算放大器的输入阻抗很高（达数百千欧以上），放大系数也极大（达 $10^4 \sim 10^6$ ），在 $R_{01} = R_{02} = R_0$ 时，调节器输出电压与输入电压之比（传递函数）为

$$\frac{U_k}{U_e} \approx k_p \frac{1 + T_1 s}{T_1 s}$$

式中 $U_e = (U_e - U_f)$ 为给定电压与反馈电压之差（偏差电压）； $k_p = R_1/R_0$ 为PI调节器的比例系数； $T_1 = R_1 C_1$ 为PI调节器的积分时间常数； s 为复频率。PI调

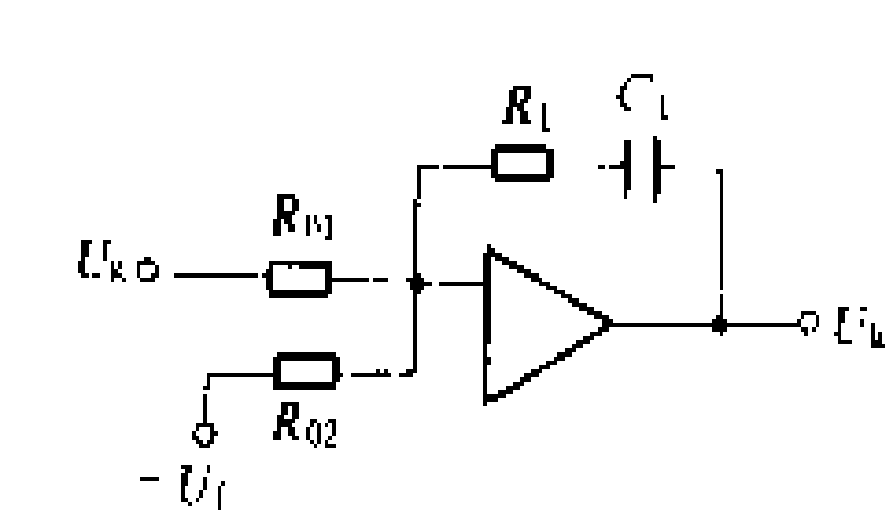


图4 PI调节器电路

整调节系统时常希望调节器的比例放大系数与积分时间常数无关，以便在改变放大系数整定系统时不影

响原有输入量。工程应用中，各种线性和非线性调节放大器、函数发生器及输入或输出限幅电路等都制成标准的系列化组件单元，以便应用时选用。

响原有输入量。工程应用中，各种线性和非线性调节放大器、函数发生器及输入或输出限幅电路等都制成标准的系列化组件单元，以便应用时选用。

应用 一般的转速模拟控制都采用闭环控制，对在负反馈环节内的一切主通道上的扰动作用，如电源电压的波动、负载的变化和温升引起主电路电阻的增大等引起的转速变化，都能由测速装置检测出来并进行反馈控制，从而能有效地抑制、减少它们对稳态转速的影响。但如果给定电源发生波动使被调量发生变化，或反馈元件本身的误差使反馈电压发生变化，都会使电动机的转速偏离给定转速。这说明对于给定装置和测量装置中的扰动作用，闭环系统没有能力加以抑制。因而，给定量和反馈量的精度直接影响着稳速精度。如采用一般测速发电机，稳速精度约为1%，若提高测速发电机的精度，稳速精度可达0.2%~0.3%。转速模拟控制的最小误差可达到0.1%，当要得到更高精度时，必须采用脉冲式速度发生器的数字信息系统（见转速数字控制和转速频率控制）。

参考书目

冯信康，杨兴瑶编译，电力传动控制系统与应用，北京：水利电力出版社，1985

（施传立）

zhuansu pinlü kongzhi

转速频率控制 (speed control with frequency signal)

采用给定频率和转速反馈频率实现电动机稳速控制的技术。转速频率控制的给定频率，可由石英晶体振荡器及频率合成技术得到，可达到很高精度；转速反馈频率可由转速脉冲发生器产生（见转速数字控制），其转速脉冲变换具有硬性比例，不受温度、电网电压等外界因素的影响，无漂移。它比用测速发电机反馈的转速模拟控制有更高的稳速精度。转速频率控制大致可分为频率电压变换器系统、比周系统、差频系统和监相系统四种控制。

频率电压变换器系统 图1为这种稳速系统的原理图。给定频率和转速反馈频率都先通过频率电压变换器（ f/U ）变换成电压信号，再输入调节器对电动机

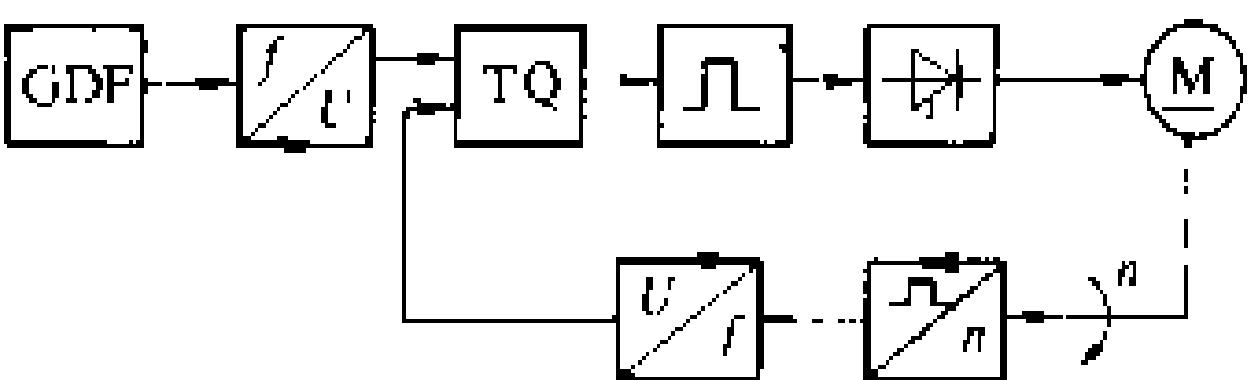


图1 频率电压变换器系统的原理图

转速进行控制。由于两个频率电压变换器的漂移在一定程度上可以互相补偿，其稳速精度略高于用测速发电机反馈的模拟控制，一般可达0.1%。常用的频率电

压变换器有饱和变压器、电容充放电电路、计数限幅电路等。

比周系统 图2所示为该系统的原理图。系统中将频率电压变换器改为比周器进行周期比较,将给定频率和转速反馈频率直接变换为误差电压信号输出,不同于频率电压变换器分别将给定频率和转速反馈频率变换成电压信号的频率电压变换器系统。反馈脉冲作为变换器的控制脉冲,当控制门M每输入一个控制脉冲时,控制门开放使计数器JS对给定频率 f_g 计数,当计满预置的数 N 后,控制门关闭使计数器停止计数。对应一个反馈脉冲,计数器输出一个定宽脉冲,其宽度 $T=N\frac{1}{f_g}$,经过限幅放大器XF双向限幅和滤波器LB滤波后,得到一个偏差电压 ΔU , ΔU 的大小与控制脉冲的频率 f_i 成线性关系。如果当 $f_i=\frac{f_g}{2N}$ 时,计数器JS的输出脉冲占空比为0.5,限幅放大器的输出对零线对称,滤波后其输出电压正好为零,电动机转速正好等于定值。当转速 n 偏离给定值,使 f_i 大于或小于 $f_g/2N$,比周器输出一个负值或正值的 ΔU 偏差信号,使电动机减速或加速。改变基准脉冲频率 f_g (给定频率),或改变 N 值,即可以改变电动机的转速。本系统的稳速精度主要取决于比周器的稳定精度。如果要求系统的稳速精度为0.1%~0.2%,比周器的稳定精度应为0.05%。

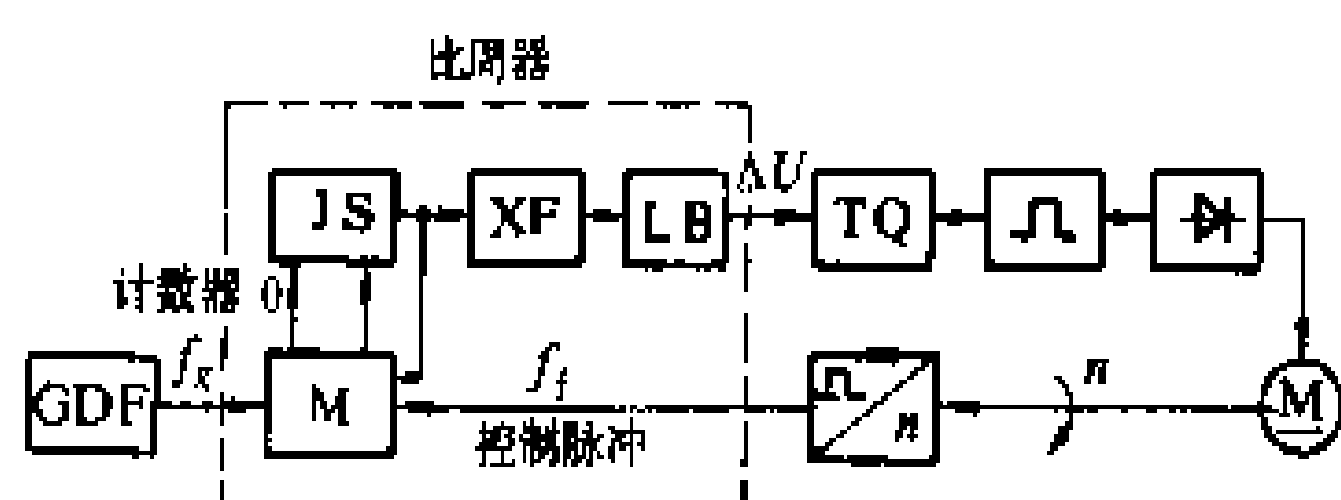


图2 比周系统的原理图

差频系统 比周器前面加一差频器,进一步提高稳速精度,可构成如图3所示的差频稳速系统。设 f_g

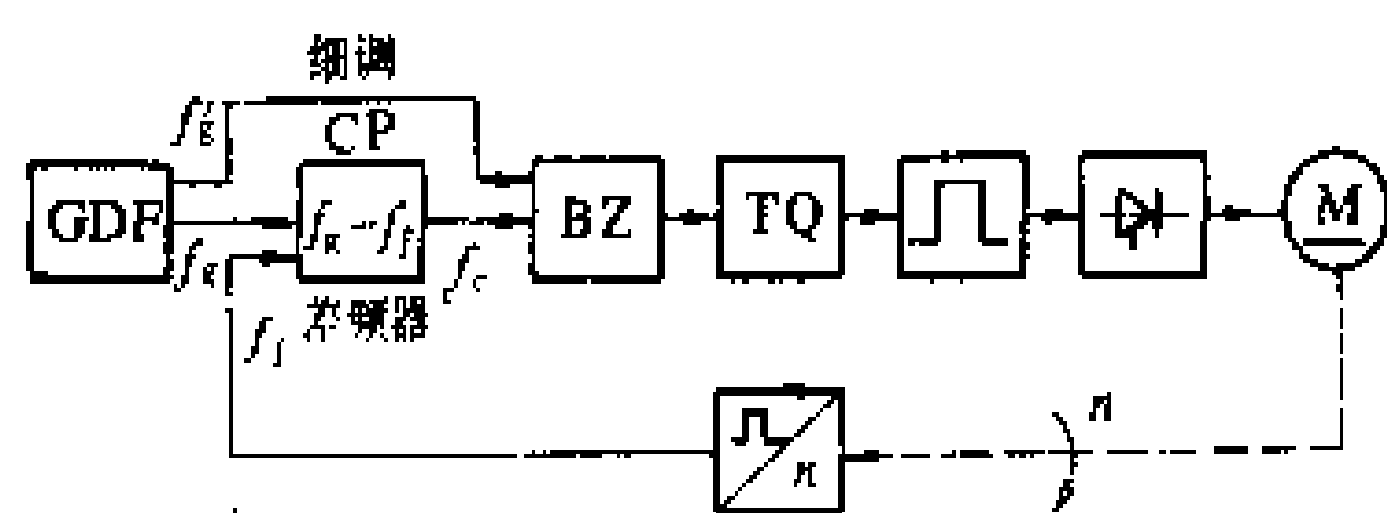


图3 差频稳速系统原理图

$=10500\text{ Hz}$, $f_i=10000\text{ Hz}$, 则 $f_c=f_g-f_i=500\text{ Hz}$ 。若比周器的误差为0.1%, 则频率误差 $\Delta f=f_c\times 0.1\%=0.5\text{ Hz}$ 。但对于系统来说, 其误差仅为 $\Delta f/f_i=0.5/10000=0.005\%$, 相对误差减小到原来的1/20, 因此提高基准(给定)频率可提高稳速精度。其稳速精度可

做到0.1%~0.01%。

鉴相系统 将锁相技术应用到电动机的速度控制上, 可以得到转速频率控制中精度最高的一种稳速系统, 只要反馈脉冲与给定脉冲的相位锁定, 系统的精度就不会低于 10^{-4} 。图4为具有锁相环的鉴相稳速系统原理图。鉴相器(一种相位频率比较装置)采用MC4044电路, 其输出经过低通滤波器后加至电动机驱动电路。当反馈信号与输入参考信号锁定时, 两者具

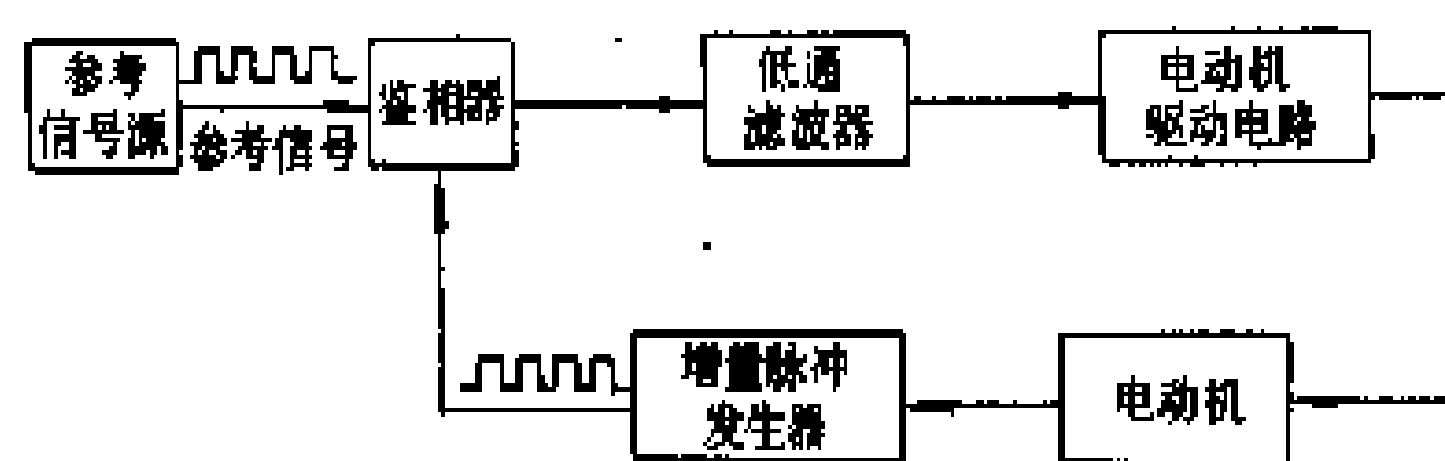


图4 鉴相稳速系统

有相同的频率, 且有恒定的相位差。如果相位差偏离了给定的值, 甚至有频率差, 则通过鉴相器可以将偏差检测出来, 输出一误差信号, 经低通滤波器和电动机驱动电路调节电动机的转速, 这样使反馈信号与参考信号的频率相一致并具有一定的相位差, 这时电动机被锁定在给定的速度值上。鉴相系统虽然精度很高, 但适应冲击扰动的能力差, 故一般适用于负载平稳的精密机械的稳速控制。

参考书目

冯信康, 杨兴瑶编译. 电力传动控制系统原理与应用. 北京: 水利电力出版社, 1985

(施传立)

zhuansu shuzi kongzhi

转速数字控制 (digital speed control)

采用以转速数字量给定和转速数字量反馈实现电动机稳速控制的技术。数字量是指在时间和数值上都离散的信号量, 其变化在时间上不连续, 数字的增减都取数字形式。电力拖动速度信息处理得极好的模拟系统中, 最小误差可达0.1%的水平。当必须得到更高精度时, 应采用数字测速装置和数字给定装置, 反馈信号和给定信号以数字量的形式实现, 在规定范围内的电源波动和电阻值的变化都不会影响数字量的大小, 系统的抗干扰能力大大提高, 转速静差率可小于0.1%。

转速数字控制可以分为转速数字模拟控制与转速全数字控制两种。

转速数字模拟控制 将给定的和反馈的转速数字量变换为模拟量后对电动机的转速进行控制, 所构成的控制系统称为转速数字模拟控制系统。图1示出了这种系统的原理框图。拨盘给定值为数字量 D_d ; 转速反馈量为脉冲频率 f , 经过频率数字转换器(f/D)转

换成数字量 D_i 。给定数字量和反馈数字量两者进行比较,所形成的信号差值经过数模(D/A)转换为模拟量后输入调节器进行控制。由于给定、反馈和比较等装置构造误差的减少,特别是数字反馈发送器的精度比模拟式测速发电机或旋转变压器等的精度高几个数量级(速度发送器的精度约为 $0.01\% \sim 0.001\%$),比较装置实际上没有附加的构造误差,因而转速数字模拟控制具有很高的精度。为了充分利用模拟调节和数字调节各自的优点,可采用转速数字模拟混合调节系统。模拟支路保证调节的快速性,数字支路则保证调节的精度和长时间的稳定性。通常,模拟调节的速度在时间上常常要比数字调节的速度快一个数量级,但在静态精度上数字系统又比模拟系统高一个或几个数量级。

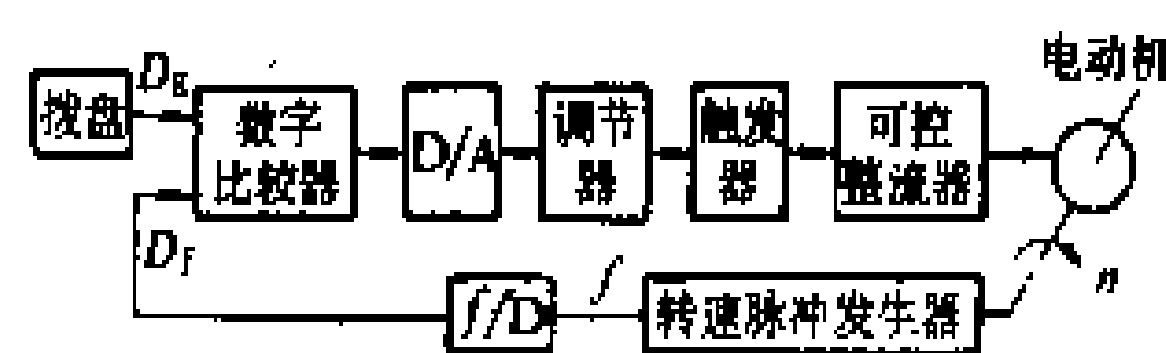


图1 转速数字模拟控制原理框图

转速全数字控制 用计算机实现系统的数字比较、数字调节和数字触发等功能。图2为直流传动的转速全数字控制原理框图。图中 f 为反馈频率量,经频率数字转换器变为数字量 D_i 。为了得到数字式的电流信息,在电流互感器的输出装有模数转换器。虚线框内的单元功能全由计算机完成,这种控制称为直接数字控制(DDC)。速度给定和速度反馈在计算机中进行数字比较,得出数字误差信号,然后经过数字比例积分(PI)调节器进行数字运算,其输出量即为电流数字给定量,再与电流反馈量在计算机中进行数字比较,得到电流数字误差信号,经数字PI电流调节器进行数字

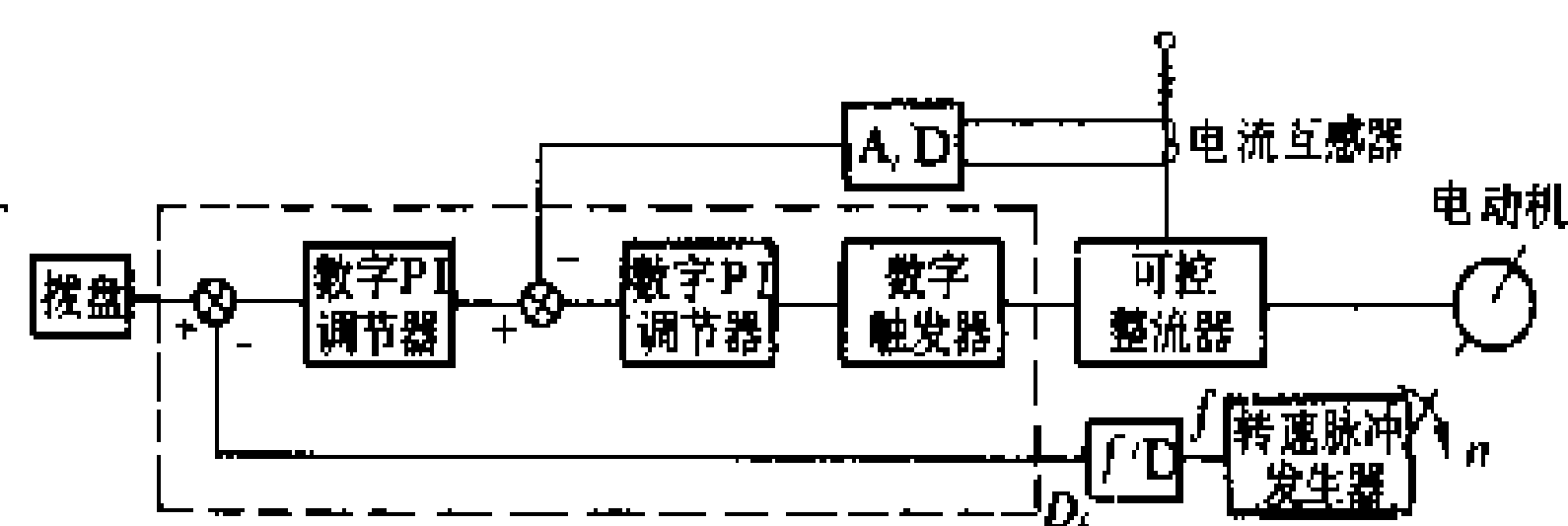


图2 直流传动的转速全数字控制原理框图

ST—速度调节器; LT—电流调节器

PI运算,其输出为数字移相信号,经过数字触发器转变为具有适当控制角的晶闸管触发脉冲。如应用大规模及超大规模集成电路组件为主要部件组成的数字式电子计算机——微型计算机(微机),其体积则微型化,而其性能却相当或稍低于小型计算机。采用微机直接控制有很多明显的优点。微处理器可以代替模拟式调节器的许多成本高的元器件,如存储器存储的差分方程可代替模拟式积分器的功能,乘、除子程序可代替线

性放大器的功能。同时,还可以更好地发挥微机控制的灵活性,改变反馈增益或者甚至通过改编语言程序来改变整个调节器的设计。但由于微机速度较慢和字长太短,而使微机直接控制在系统稳定性等方面受到一些限制。为此,也可采用微机间接控制。在间接控制系统中,模拟式调节器仍是系统的一部分,但输入到系统的指令是从微处理器送来的。这时微机特别适于作为主中央控制器,其中的微处理器发出指令到各子系统,各子系统接受指令并去执行这些指令。计算机仍取代了控制系统中的一些硬件,具有计算机控制的某些灵活性特点。当然,这种间接控制方法需要较多的模拟元件和设备,成本较高,系统较复杂些。

转速全数字控制有着许多优点:①提高了稳速控制的稳速精度;②软件代替了模拟控制的硬件设备,从而简化了系统硬件结构,减少了维修工作量;③容易实现各种先进的控制规律,进一步改善控制性能,如非线性控制、前馈控制、最优控制、自适应控制等;④利用软件实现系统的监控、故障自诊断、自复位等多种功能,提高了系统的可靠性;⑤可以与上级计算机进行通信联系;⑥如利用软件实现调节器,则容易改变参数,增加了灵活性。

数字信号处理 首先以转速测量的例子说明数字信号处理的原理。图3为测量速度的数字装置。光电测速盘1的四周开有缝隙或刻有光栅,并由电动机带动圆盘转动,光源的光线透过缝隙照到光敏元件上,光敏元件将变化的光通量信号变换为电脉冲信号。经过整形和放大电路2,产生一系列矩形脉冲,再经过由给定的采样周期 T_m 控制的门电路3送至计数器4中,所计的每周脉冲数即代表电动机的转速。除上述光电式结构外,还有磁电式或电刷接触式。数字信号处理主要包括测量装置和信号转换装置。

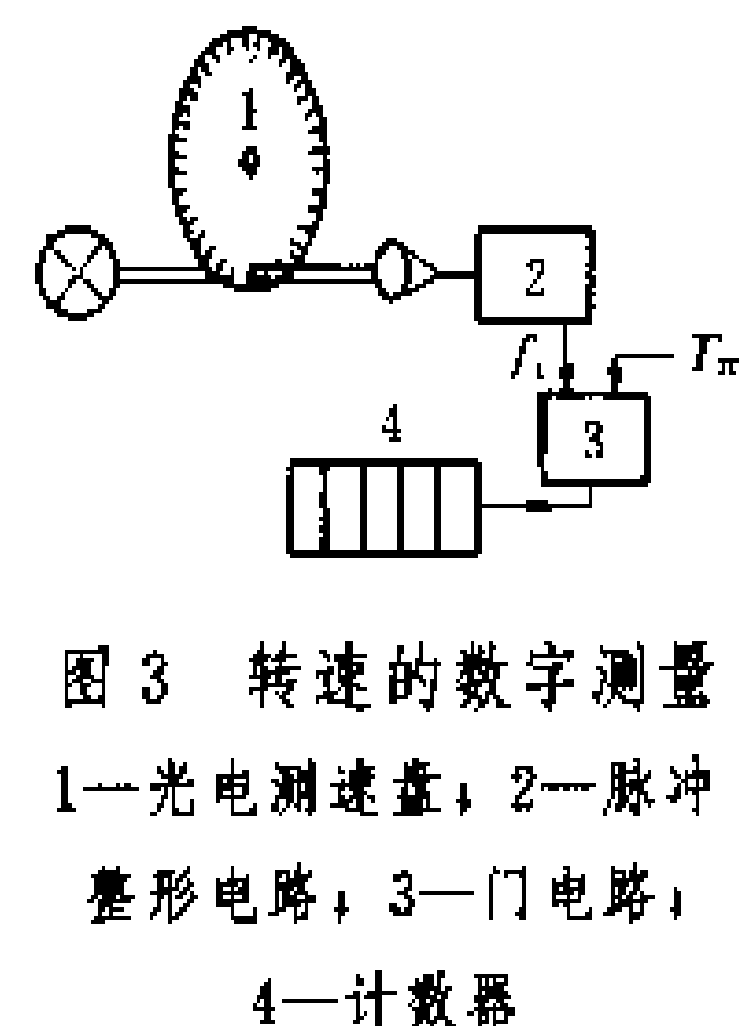


图3 转速的数字测量

1—光电测速盘; 2—脉冲整形电路; 3—门电路; 4—计数器

速。除上述光电式结构外,还有磁电式或电刷接触式。数字信号处理主要包括测量装置和信号转换装置。

(1) 测量装置。主要是反馈量——转速的测量,它可以用增量脉冲发生器或增量编码脉冲发生器进行。增量脉冲发生器一般采用光学采样光栅,在给定的测量时间内计数器计得的数字与转速成正比。增量编码脉冲发生器产生互差 90° 的两脉冲序列,每个脉冲序列都经过“与”门、多谐振荡器和滤波网络进入差分运算放大器,脉冲序列的频率以及运算放大器的输出电压都与转速成比例。由于脉冲发生器的误差要比测速发电机的误差低得多,从而提高了转速数字控制系统的精度。

(2) 信号转换装置。包括模数转换器 (A/D) 和数模转换器 (D/A)。实际上, 速度测量装置就是一种模数转换器, 系将机械的模拟输入信号转换为电的数字输出信号。如将电的模拟输入信号转换为电的数字输出信号, 可利用一锯齿波发生器, 产生与输入信号成比例的测量时间脉冲, 在该时间内恒定的标准频率进入计数器中计数, 每拍中计数的数值, 即与输入信号成比例, 从而将模拟信号转换为数字输出信号。可以

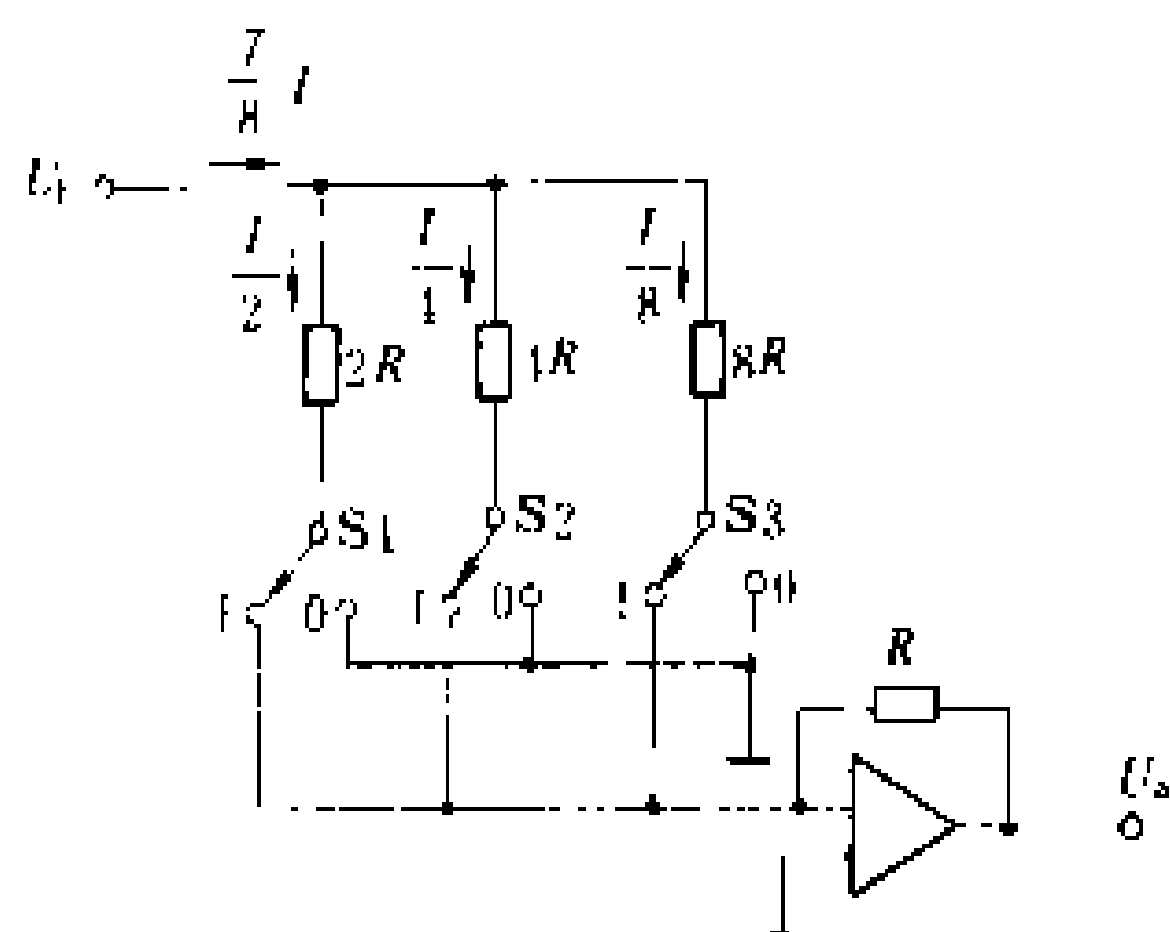


图 4 利用权电阻的数模转换器

根据计数器一定的代码来构成数模转换器, 图 4 为利用权电阻通过分级开关接至电源线的 D/A 转换电路, 各分级开关 S1~S3 的控制权电阻支路是该转换电路的组成部分, 这些开关的通断位置是由计数器中存储的信号所决定, 分级开关所接的权电阻应与对应的数字信号值成反比, 从而使流通的电流与数值信号值成正比, 则输出的模拟量电压值正比于输入的数字量。

数字调节器 为了实现数字调节器的功能, 可先设计一个相应的模拟调节器。工程上对于连续系统的设计已有成熟的经验, 例如频率法、根轨迹法、时间响应法等, 并可利用计算机辅助分析设计求解, 求出调节器的参数。在典型的双闭环晶闸管直流调速系统中, 速度和电流环所采用的比例积分 (PI) 调节器, 均可通过系统的综合分析设计, 求出调节器的参数, 从而得出调节器的传递函数。然后, 根据传递函数写出调节器动态性能的时域表达式。再将此连续时域表达式离散化, 求出相应的差分方程, 作为数字调节器程序设计的依据。当积分项离散时, 可以采用一些数值积分算法, 例如梯形法等。除了利用时域表达式离散化外, 还可采用 Z 变换、双线性变换或 Z 型变换等, 利用传递函数的 Z 变换或近似 Z 变换表达式, 再进行分解而得到离散时域的动态方程。必须注意, 所得到的离散时间调节器不可能具有模拟式调节器的所有性质。特别是采样周期和反馈增益两个量对离散调节器的性能有重要的影响, 从而直接关系到系统的稳定性。离散化系统稳定性应当采用采样系统理论中的稳定性准则进行判别。比上述方法更好的方法是把整个

系统作为数字控制系统处理, 而采用数字控制理论进行设计。

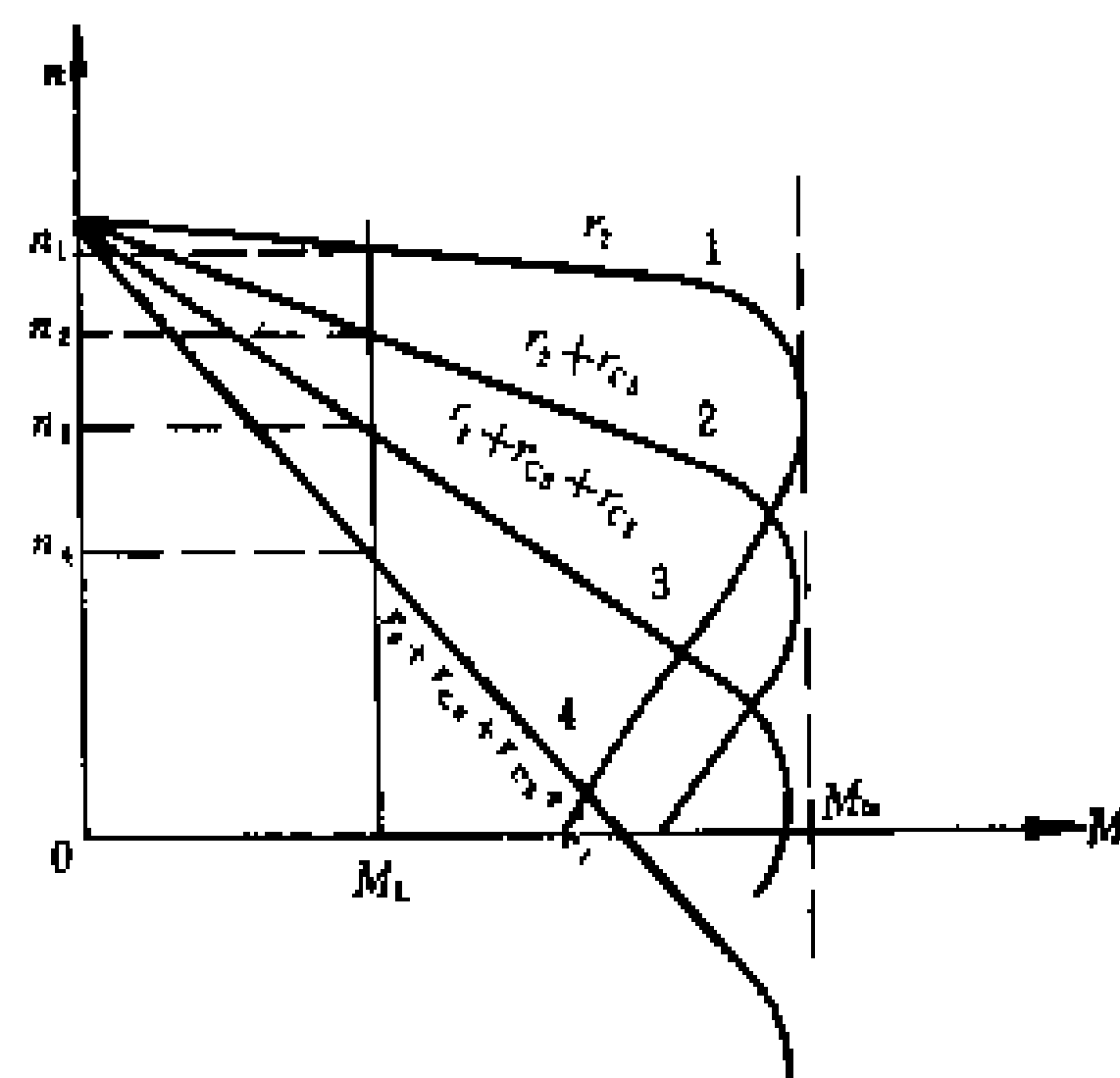
(施传立)

zhuanzi chuan dianzu jiaoliu tiaosu

转子串电阻交流调速 (AC motor speed control by rotor rheostat)

改变绕线转子感

应电动机转子回路中可调变阻器阻值实现调速的技术。图中示出了绕线转子感应电动机转子回路中串入不同阻值附加电阻的转矩-转速特性。曲线 1 为转子回路中未串电阻时 (r_2 为转子绕组电阻) 的特性曲线; 曲线 2 为转子回路中串入电阻 r_{c2} 时的特性曲线, 曲线 3 为转子回路中串入电阻 $r_{c2}+r_{c3}$ 时的特性曲线; 曲线 4 为外串电阻 $r_{c1}+r_{c2}+r_{c3}$ 时的特性曲线。对恒转矩负载 M_L 而言, 电动机转速分别为 n_1 、 n_2 、 n_3 、 n_4 , 即串入不同阻值时, 得到了不同的转速。特性曲线上所对应的外串电阻值依靠可调变阻器来实现, 从电阻 $r_{c1}+r_{c2}+r_{c3}$ 依次切除 r_{c1} 、 r_{c2} 、 r_{c3} , 即可得到相应的转速。这种调速方法实质上属调节转差率一类 (见交流电动机调速)。由于笼型感应电动机转子回路是闭合的笼型导条, 不可能外串电阻, 这种调速方法只适用于绕线转子感应电动机。如果在调速时保持转子电流为恒定值, 则调速前后的转子电阻与转差率的比值保持不变, 电磁功率和电磁转矩亦保持不变。可见, 转子回路串电阻是一种恒转矩调速方法。



绕线转子感应电动机转子串电阻调速特性曲线

转子串电阻调速的主要优点是: 方法简单、初期投资不高。其主要问题是: ①调速范围不大, 其速度上限是电机额定转速, 下限则受容许的静差率限制, 实际调速范围一般为 (2~3) : 1, 最大不超过 10 : 1, 轻负载时的调速范围将更小; ②转子所串电阻体积笨重, 又要消耗一定功率, 致使效率降低, 特别是低速时效率很低。至于调速的平滑性问题, 如果电阻系靠抽头调节, 则调速平滑性不好; 如果利用电子线路对转子串接电阻进行连续通断切换, 则可实现无级调速。这种调速多

用于断续工作方式的生产机械上,其低速运转时间短,静差率要求也不高,如起重运输机械、交流卷扬机、轧钢机的辅助机械等。

参考书目

顾绳谷主编,电机及拖动基础,下册,北京:机械工业出版社,1985

(施传立)

zidong zhaoxiangji

自动照相机 (automatic camera) 一种应用电子技术和计算机技术,实现自动拍摄,具有识别、显示功能的摄影装置。

传统照相机主要由机身、镜头、光圈、调焦机构、快门、慢门、自拍机构、卷片、记数、倒片等机械和光学机构组成。电子技术应用于传统照相机始于20世纪50年代。最初的功能是电子测光,也称电眼。随后,照相机的其他功能逐步实现电子化和自动化。直至80年代,大规模集成电路技术和电子计算机技术的采用,使照相机各功能电路与原有机件、光学机构紧密结合,始构成自动照相机。

自动照相机的基本功能有:自动测光、自动识别DX码、自动曝光、内藏电子闪光灯或与自动电子闪光灯配接、自动调焦、自动输片、自动记录、自动提示等。

自动曝光:照相机内高灵敏测光系统,对景物亮度进行测量,测量结果送入微型电脑,电脑根据测光数据通过预存储的有关资料,确认曝光数据,并发出相应指令。指令输入到电子快门系统和电子光圈系统,确定曝光组合,使快门和光圈选择装置动作。

自动调焦:自动调焦系统主要分两类:一类为利用电子元件分析调焦屏上影像清晰度的被动式自动调焦系统;另一类为利用发射波度量被摄体实际距离,根据所得资料进行调焦的主动式自动调焦。在自动调焦基础上,为便于摄影创作,自动调焦系统还附有调焦锁、调焦记忆装置以及手动调焦装置等。

自动输片:快门开闭一次,接通电路,电动机转动,通过传动机械带动卷片轴收卷底片。卷片轴与快门、停片、记数装置互相联动。当全部胶片曝光完毕后,胶片自动倒入暗盒。摄影时输片速度可达4~6片/s。

根据不同的用途及不同的档次,各类自动照相机的自动化程度高低不同。普及型的产品一般只有测光、自动输片及部分显示功能,高级的自动照相机则可能包括全部自动功能。自动照相机不仅是照相技术的一大进步,由于操作方便、输片迅速、曝光准确,对摄影创作产生了积极的影响。

(孙百英)

zizhengjiao bianyaqi

自整角变压器 (synchro control transformer) 控制式自整角系统的接收机。由于在变压器状态下运行,故称自整角变压器。转子上装单相绕组,称为输出绕组,定子上装三相对称Y接整步绕组,并与发送机的三相整步绕组对接。输出绕组不接电源而接输出放大器。与变压器作用相似,自整角变压器只输出电压信号,不产生转矩。根据发送机、接收机的失调角,产生相应的电压信号经过放大器放大后送到伺服电动机的控制绕组,使伺服电动机转动并经齿轮箱减速器带动负载和自整角变压器的转子,直至发送机和接收机两转子间的失调角 $\theta=0$ 。

(吴 茗)

zizhengjiaoji

自整角机 (selsyn) 一种角位移信息发送、接收、转换用的交流控制电机,又称自整角电机、自同步机。自整角机是自整角发送机、自整角接收机、自整角差动发送机、自整角差动接收机和自整角变压器的总称,它可用以测量远距离设备装置的角度位置,也可以控制远距离机械装置的角度位置,还可以在随动系统中用作机械设备之间的角度联动装置,以实现自动整步控制。

自整角机可将机械角度变为电信号进行传送,也可将接收到的电信号直接或间接变换为机械角度显示。自整角发送机和自整角接收机在结构上基本相同,有单相交流励磁绕组和三相整步绕组,通常为一对极。磁极可做成隐极式或凸极式,可为转子也可为定子。整步绕组接成Y形,两机同名相的端子相互连接。根据控制系统的需要,发送机和接收机除可单机成对使用外,还常作多台组合使用,一台发送机可同时发送到数台接收机,将一台机械的角位移信号传送到几处进行指示或联合控制;或两台发送机送到一台接收机,以测量两台机械的转角差或和(即进行角度的加减运算),从而实现多机联动控制。

自整角机按系统的工作方式可分为力矩式和控制式;按测取单轴的角位移或是两轴的角位差,可分为普通式和差动式;按有无集电环又可分为接触式和无接触式。力矩式和控制式自整角机适用于随动系统中位移指示装置。前者精度低,带负载能力低;后者精度高,带负载能力大。但它们都只能让接收机跟随发送机整步旋转。差动式自整角机则不仅能指示两台机械的相对角度位置差,而且能根据控制系统的要求使两台机械保持固定的角度差。

力矩式自整角机 其发送机和接收机的励磁绕组接同一交流电源,电路如图1所示。接收机能产生整步

转矩。交变的励磁电流在电机中产生脉振磁场，与整步绕组相链并感生出时间相位相同的感应电动势。各相电动势的大小由其励磁绕组之间的角度确定。当发送机和接收机的转子失步时，两者的脉振磁场在它们的整步绕组上各自感应时间上同相位的三相电动势。由于定子各相绕组的轴线与转子绕组轴线在空间的相对位置不同，因此，对应线间电动势不相等。在对接的两定子绕组回路中流过电流形成合成磁场，并与两励磁绕组的脉振磁场作用产生电磁转矩（又称整步转矩），

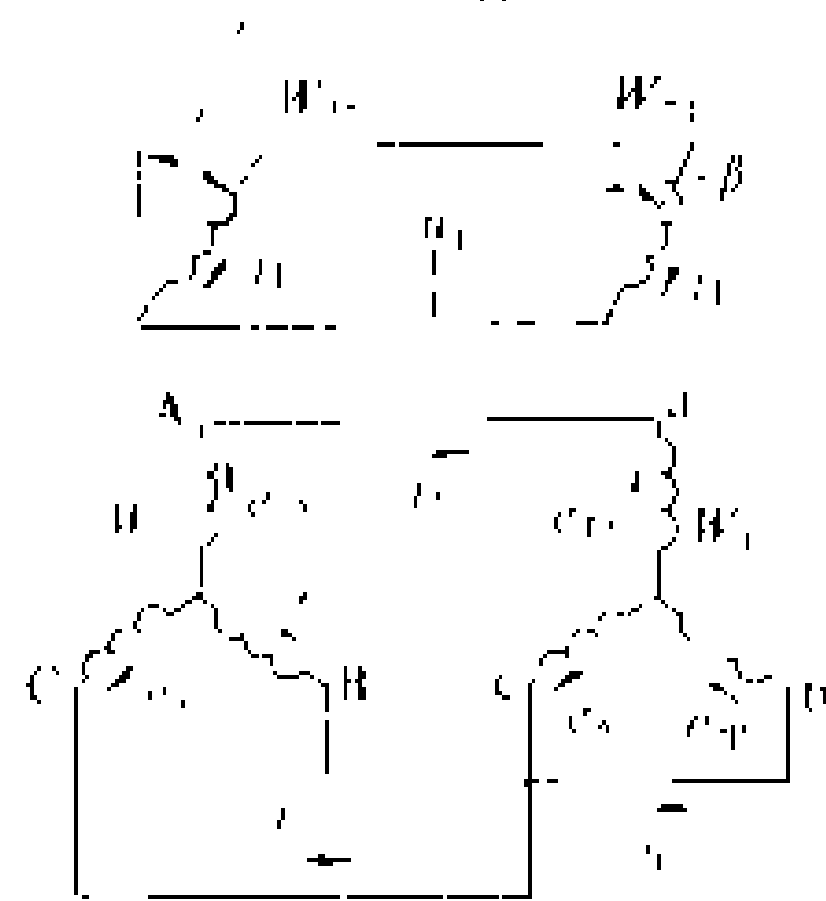


图1 力矩式自整角机
电路图

在该转矩的作用下，使两个转子向失调角 $\theta = \alpha - \beta$ 减少的方向旋转，当 $\theta = \alpha - \beta = 0$ 时，整步转矩等于零，达到平衡。由于发送机的转子与受控机械（主令轴）相连，不能自由转动，只能使接收机跟随发送机旋转。当接收机转子与发送机转子的相对位置相同时，即旋转至 $\theta = 0$ 时，两机各对应相感应电动势的大小相等、方向相反，各回路的电流等于零，整步转矩等于零，达到平衡。

控制式自整角机 控制式自整角接收机不接电源，不能产生转矩，转子自己不能转动，其输出绕组输出电压信号并经放大器放大后，由伺服电动机经过减速装置带动机械负载和接收机转子转动，直至 $\theta = 0$ 为止。由于接收机作用原理与变压器相似，故又称为自整角变压器。控制式自整角发送机的结构型式，基本上与力矩式自整角发送机相似，磁极可做成凸极式或隐极式，通常磁极在转子上，为单相励磁。励磁绕组的匝数较多，空载输入阻抗较大，同时磁通密度较低。自整角变压器输出绕组轴线与发送机励磁绕组轴线相差 90° 电角度。

控制式自整角机的电路如图2所示， W_t —发送机的励磁绕组； W_r —接收机的输出绕组； W_{t1} —发送机的三相整步绕组； W_{r1} —接收机的整步绕组；T—发送机；R—接收机。

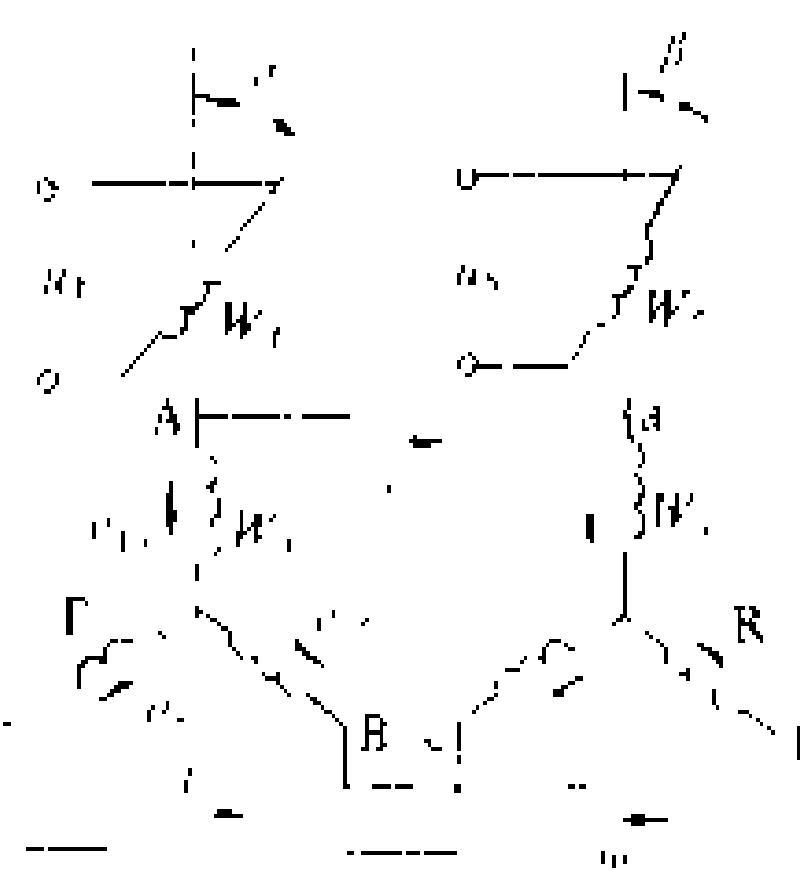


图2 控制式自整角机电路图的
接收机的输出绕组； W_{t1} —发送机的三相整步绕组； W_{r1} —接收机的整步绕组；T—发送机；R—接收机。

们对应的端子相连接；发送机的励磁绕组 W_t 接单相电源 u_1 ；接收机的转子绕组不接电源，而输出信号电压 u_2 ，所以 W_r 称为输出绕组。

当发送机接交流电压 u_1 时，将在三相整步绕组 W_{t1} 中产生感应电动势，由于接收机不接电源，其整步绕组 W_{r1} 中不产生感应电动势。两机整步绕组的电流由发送机的感应电动势产生。在 W_{t1} 中产生的合成磁场即为脉振磁场，其轴线与励磁磁场相同。流入 W_{r1} 中的电流与 W_{t1} 中的方向相反，则产生的合成磁场的方向也相反，大小则相等。接收机整步绕组磁场将在输出绕组中感生电动势，其大小与两机转子的相对角度有关。两机转子的偏转角一致时，在接收机 W_r 中感生出最大电动势，而当两转子偏转角相差 90° 时，感应电动势（为直轴电动势）等于零。在一般控制系统中，希望在从动轴与主动轴整步时，接收机不输出电压信号，而当出现失步时，才要求输出信号去起动从动轴的驱动电动机追随主动轴，为此，常以交轴电动势作实际的输出信号。

差动式自整角机 定、转子均为三相分布绕组，并接成星形。转子均为隐极式，三相绕组接三个集电环并经电刷引出。差动式自整角机的接线方式是将差动式自整角机插接在两台普通的自整角机之间，将其定、转子三相绕组分别与两台普通自整角的整步绕组连接，接收机产生的整步转矩（力矩式）或输出电压（控制式），随两台发送机的相对角度而变化，以而测量或控制随动系统中两台机械的相对转角。

差动式自整角机有三种类型：控制差动发送机，力矩差动发送机和力矩差动接收机。

（吴 茗）

zuhe kaiguan

组合开关 (component switch) 一种旋转操作的开关电器（见低压电器）。组合开关由内装动、静触头的一层层绝缘盒组合叠装而成，实质上也是一种刀开关。它一般用作非频繁操作的电源开关、控制与测量电路的开关和小容量异步电动机的开关等。

组合开关由手柄、转轴、旋转定位机构、触头及绝缘盒等组成。手柄转动定位有 90° 、 120° 两个档位。组合开关有多种组合方式以满足各种用途与接法的需要。图1(a)、(b)示出了几种常用的组合开关的原理接线图，各图上面为手柄位置示意图，图中x表示进线端，c表示出线端。图2中给出一层层绝缘盒内动、静触头的布置示意图，转轴可带动片式动触头在盒内转动，动触头与静触头接触时电路被接通。当组合开关的手柄处于水平位置时，开关分断，电路被分断；手柄处于其他位置时电路被接通。图1(a)示出的是双极

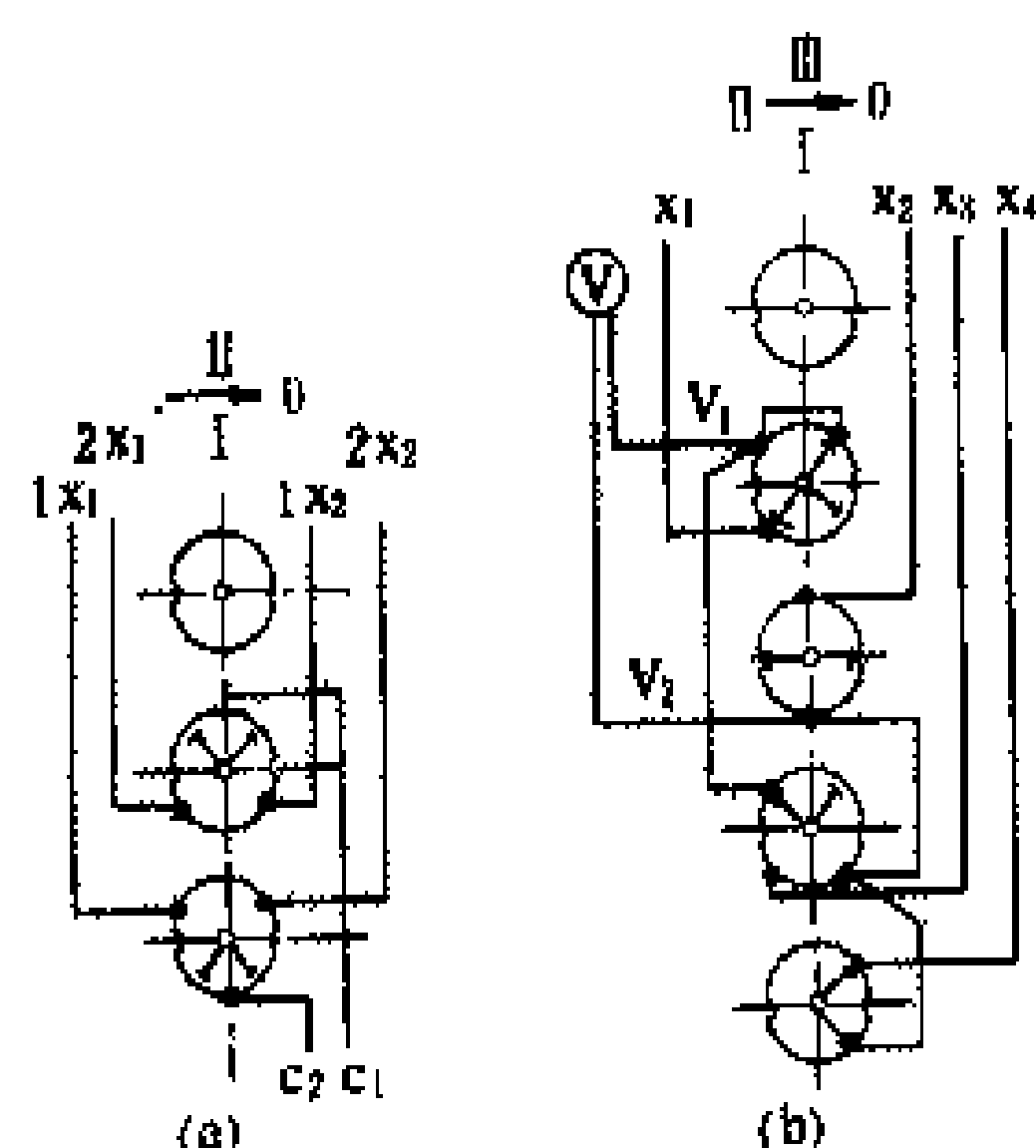


图1 常用组合开关原理接线图

(a) 双极双电源进线转换用组合开关；(b) 测量三相交流电压用组合开关

双电源进线转换用组合开关原理接线。当手柄由水平位置顺时针旋转 120° 时，片式动触头也相应转动 120° ，这时进线端 $1x_1$ 、 $1x_2$ 与出线端 c_1 、 c_2 接通；若手柄由零位反时针旋转 120° ，则使进线端 $2x_1$ 、 $2x_2$ 与出线端 c_1 、 c_2 接通。图1(b)示出的是测量三相交流电压用组合开关原理接线。它用一只电压表来测量三相电压，手柄处于零位时电压表不接通，顺转 90° ，电压表的接线端 V_1 与 V_2 接入 x_1 与 x_2 端，再旋转 90° ，电压表接入 x_1 与 x_3 端，再继续旋转 90° ，电压表接入 x_2 与 x_3 端。

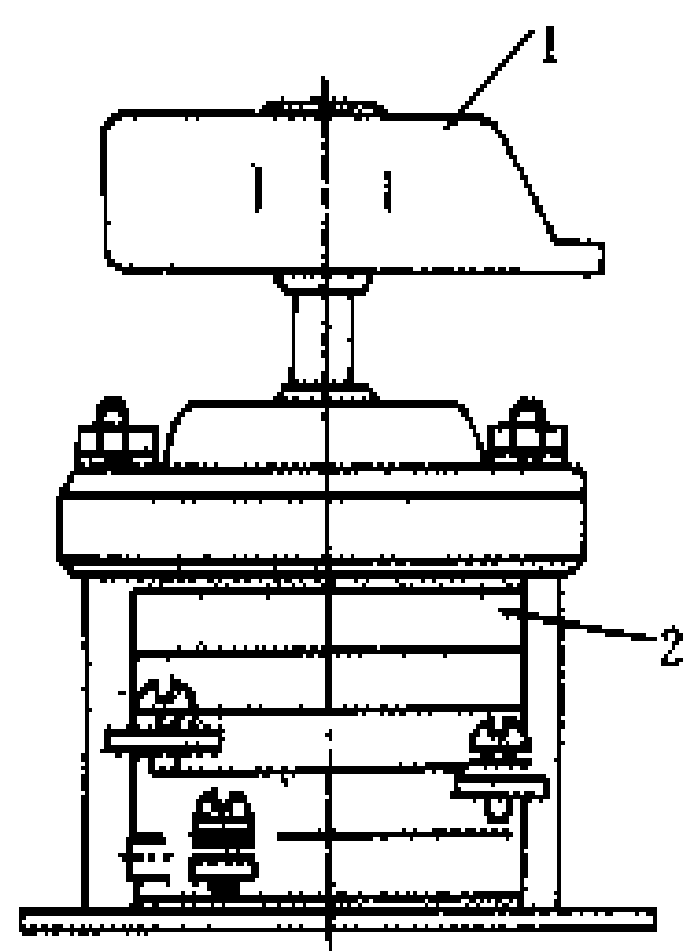


图2 绝缘盒内动、静触头布置示意图
1—手柄；2—绝缘盒

组合开关与刀开关比较，安装面积小；又由于组合开关灭弧性能有所改善，其通断能力相对高一些，但远低于低压断路器。因此，它不能用来分断故障电流。如用于控制电动机的可逆运转，也必须在电动机完全停止转动后，才能允许反方向接通电动机的电源。

(方鸿发)

zuhe yinxiang

组合音响 (combination audio) 集各种音响设备于一体或多种音响设备组合而成的高保真立体声放音系统，又称家庭音乐中心。组合音响须包含收、录、放、唱功能，至少要有两个独立的音箱，以便按立体声最佳聆听来布局，在性能上都应属高保真度之列。

沿革 组合音响是根据音乐爱好者的多方面兴趣和要求发明并制造的。音乐爱好者既要求欣赏唱片，也

要求自己录制或播放乐曲，还要求收听广播以弥补节目来源的不足，鉴于各种音响重复部分较多，开始自行采购散件装配，使用起来非常方便。之后，厂家有意识将几种音响设备组合出售，多采用一体化结构。如收录机就是收音调谐器和录音机的一体化组合，收录唱三用机是收音调谐器、电唱盘和录音机的组合，收录唱扩四用机是在三用机的基础上加扩音接口、外接话筒和扬声器，逐步演变成组合音响。1965年，8磁迹卡式放音座（见磁带录音机）一投放市场，就与电唱机和收音机组合在一起，构成“立体声音乐中心”或称“小型立体声系统”。在1979年柏林国际性展览会上送展的音响产品中，组合音响倍受称赞。80年代以来，适合家庭娱乐的卡拉OK组合音响已逐渐进入千家万户。

形式 组合音响有三种形式。

(1) 台式组合音响。将收音调谐器、立体声电唱盘、立体声录音机和立体声扩音机的部件组合在一个机壳内（图1），实现收、录、放、唱功能，但音箱和话筒是独立的。这种组合也称固定式组合音响或一体化组合音响。台式组合音响体积较小、价格便宜，属中低档。

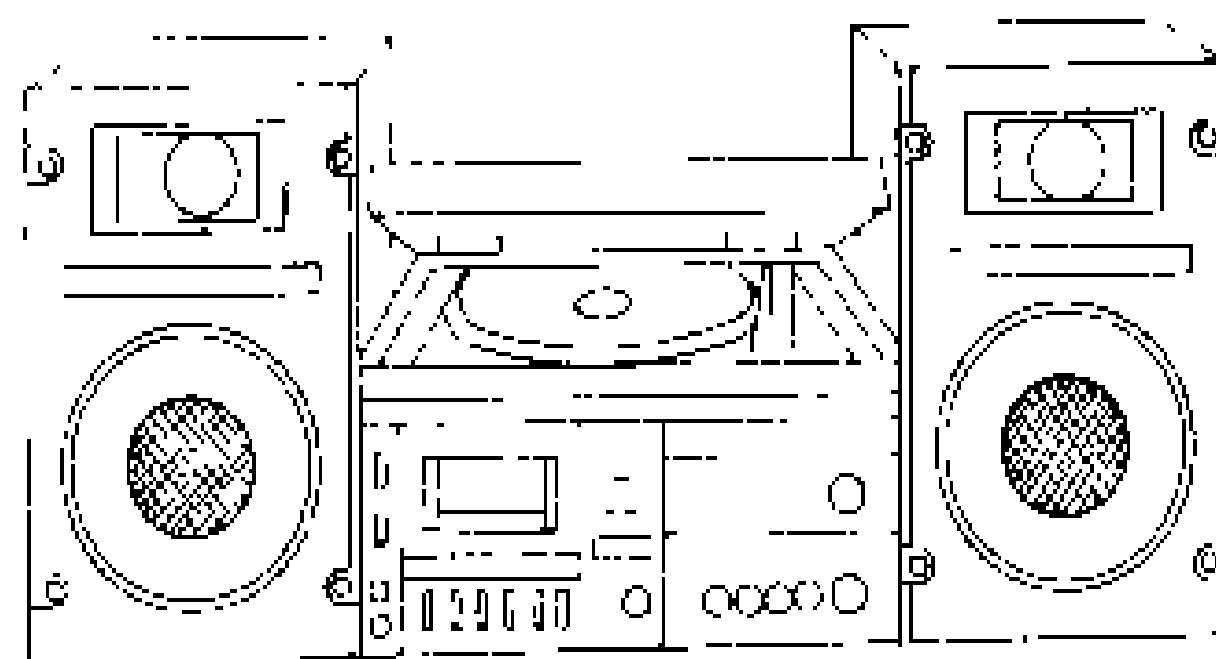


图1 台式组合音响

(2) 单机式组合音响。由收音调谐器、立体声电唱盘、立体声录音座、立体声扩音机、音箱和话筒组合而成，各部分都是独立的，可随意布局，用电缆连接（图2）。这种组合音响正向小型化和超小型化方向发展，可随意摆放，不占用太大的空间即可欣赏优美的乐曲。

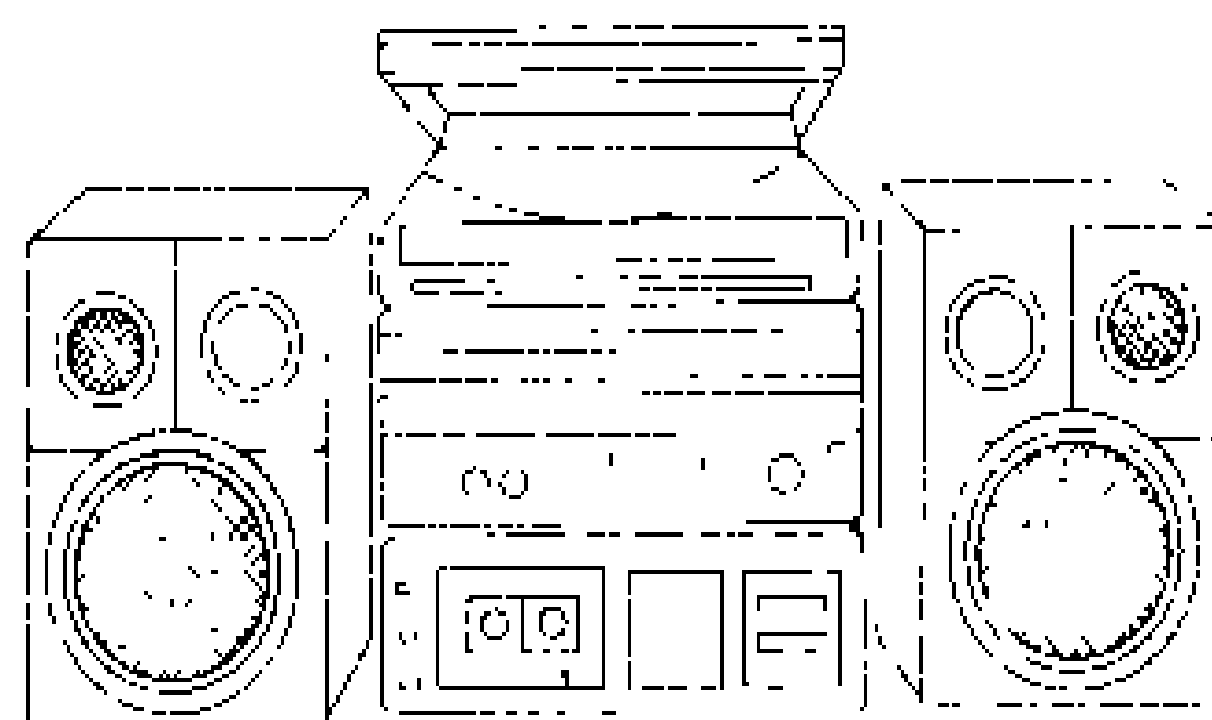


图2 单机式组合音响

(3) 落地式组合音响。将单机组合中的各种单机放在一个机架中，分层或分路布置，用电缆连接，机架留有空间，可放磁带和唱片，多装脚轮以便于移动（图3），但音箱和话筒还是独立的。机架多为暗色，显得庄重，造型高雅，美观大方，既是装饰品又是娱乐品。



趋势 组合音响不断引入各机种的新技术，其性能不断提高。

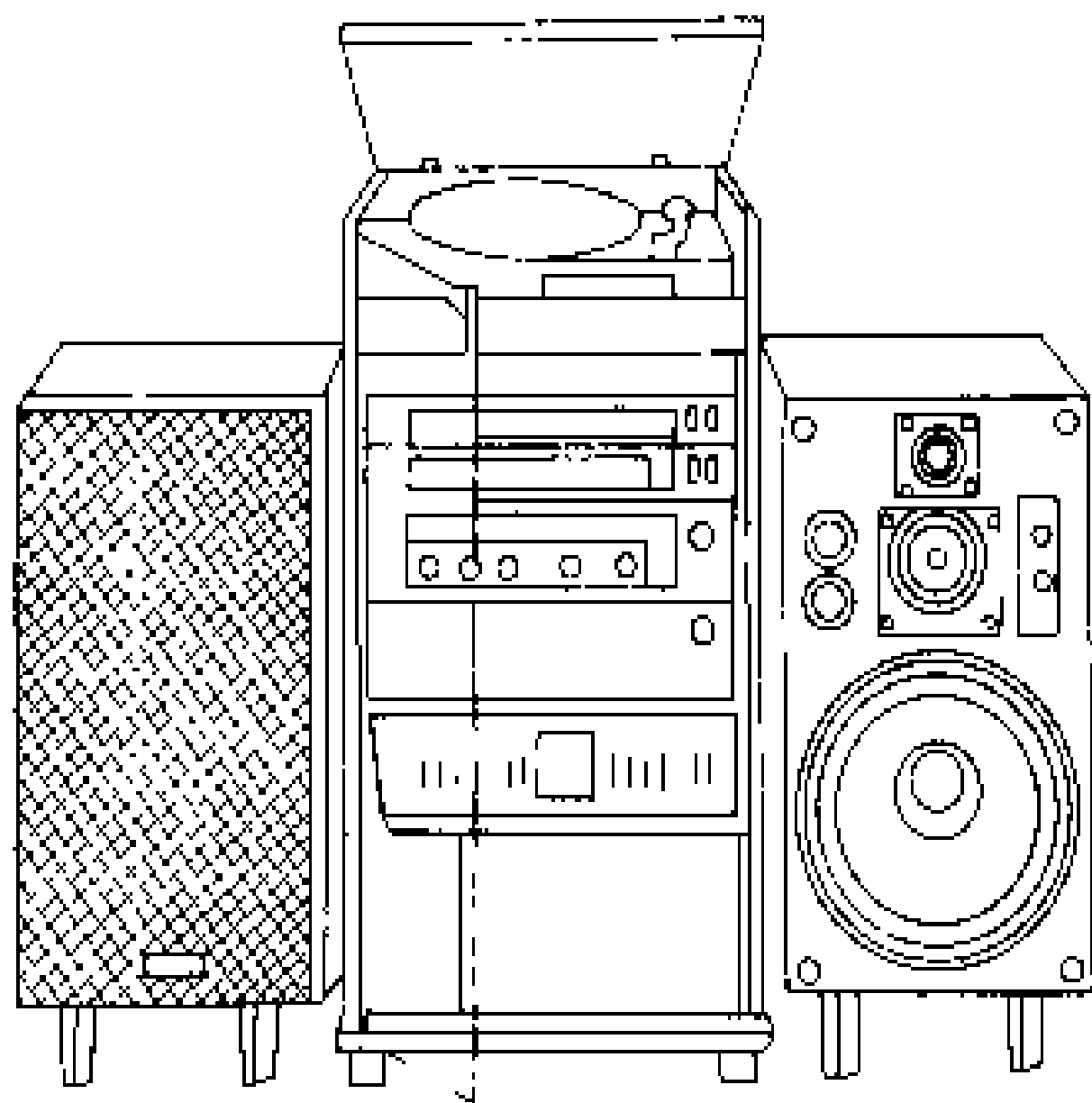


图 3 落地式组合音响

(1) 采用新技术。收音调谐器可收长波（中国较少）、中波、短波和立体声调频节目，其调谐装置有手动式、锁定式、预置式，并可遥控；录放音多采用高级双卡录音座，具有快速复制功能，反转式录放音功能，立体声扩展功能；播放唱片多采用 45°/45° 立体声电唱盘，线性循迹唱臂；扩音机多附有均衡器。

(2) 分机不断更新。随着音响技术的不断发展和产品的更新换代，组合音响的设备不断变化。新型机种中的激光唱盘取代了电唱盘，数字磁带录音机将取代录音座。单机式和落地式组合音响，可由使用者自行配置或更换分机。

参考书目

王新成编著，音响集成电路的原理和应用，北京：电子工业出版社，1987

（吕 柏）

条目汉字笔画索引

说 明

一、本索引供读者按条目标题的汉字笔画查检条目。

二、条目标题按第一字的笔画由少到多的顺序排列，笔画数相同的字按起笔笔形一(横)、丨(竖)、丿(撇)、丶(点)、㇇(折，包括乚ㄣ等)的顺序排列。第一字相同的，依次按后面各字的笔画数和起笔笔形顺序排列。

三、用罗马数字、阿拉伯数字、拉丁字母、斯拉夫字母和希腊字母开头的条目标题依次排在汉字开头的条目标题的后面。

四、参见条(虚条)的页码采取虚实条兼注的方式，即参见条页码在括号外，被参见条页码在括号内。

一画

[-]

一般照明 449

二画

[丿]

人体触电 385

[㇇]

刀开关 36

力矩电动机 343

三画

[-]

干手器 221

干衣机 221

工作接地 239

[-]

广播收音机 254

四画

[-]

无轨电车 429

无线电电力负荷控制

装置 431

无换向器电机调速 429

无触点开关 428

无影灯 432

不对称负荷 17

互感器二次负载 263

互感器检验 264

[丨]

水电解 402

水泥工业用电 402

[丿]

手弧焊 399

毛纺织工业用电 359

气体放电灯 377

气体保护电弧焊 375

长网造纸机电控系统 22

化肥工业用电 265

化学工业用电 268

化学电源 266

化学纤维工业用电 268

介质加热 315(234)

公共电车 239

风机节电技术 219

风机泵类电控系统 218

[-]

计划用电 276

计算机X射线断层诊

断仪 277

心电图记录仪 439

[㇇]

办公自动化 5

双电源连锁装置 401

五画

[-]

功率因数调整电费 239

节电效益评估 314

节电量 313

节约用电技术 314

可逆冷轧机电控系统 325

可逆热轧机电控系统 327

石油及天然气开采用电 393

石油化学工业用电 391

[丨]

卡拉OK 324

北京地铁 8

北京有色冶金设计研究

总院 9

电力机车 119

电力机车电机电器 124

电力机车变流 121

电力机车调速 128

电力机车控制 126

电力负荷控制装置 118

电力时控开关 145

电力拖动 145

电力拖动负载工作制 147

电力拖动典型负载特性 146

电力拖动控制设备 147

电力拖动控制系统 147

电力定量器 118

电力牵引 133

电力牵引功率因数 138

电力牵引负荷特征 137

电力牵引运动装置 143

电力牵引直接供电方式 144

电力牵引AT供电方式 134

电力牵引供电方式 139

电力牵引BT供电方式 134

电力牵引CC供电方式 136

电力牵引供电计算	140
电力牵引供电系统	142
电力牵引变电所	135
电力牵引迷散电流	143
电力牵引高次谐波	137
电子乐器	200
电子导体	194
电子束加热	197
电子束焊	196
电子针灸按摩器	201
电子显微镜	199
电子控制设备的电磁兼 容性	194
电子游戏机	199
电水壶	187
电气化铁路	167
电气化铁路接地网	171
电气化铁路接触网	169
电气安全用具	166
电气设备防火	171
电气照明	172
电气照明节电技术	174
电气照明设计	175
电化当量	97
电化学	97
电化学工业	100
电化学防护	99
电化学腐蚀	100
电风扇	87
电石工业用电	183
电加热	103
电加热节电技术	104
电动刃磨砂轮机	82
电动车组	68
电动切片机	82
电动平板摆动式砂光机	81
电动发电机组直流调速	69
电动机	69
电动机节电技术	76
电动机变频起动	76
电动机调速	79
电动角向磨光机	81
电动序	84
电动玩具	83
电动修枝机	83
电动剃须刀	82
电动绞肉机	81
电动剪草机	81
电机放大机直流调速	101
电光源	88
电冰箱	61
电抛光	165
电声乐器	182
电极反应	102
电极极化	102

电极势	103
电吹风	64
电刨	60
电饭锅	85
电灶	191
电阻加热	203
电阻炉	203
电阻焊	201
电阻器	206
电咖啡壶	115
电炒锅	63
电炉	153
电炉变压器	155
电炉变频电源	153
电视接收机	184
电弧加热	93
电弧炉	93
电弧炉电极	94
电弧炉电极自动调节器	95
电弧焊	92
电度电费	84
电费滞纳金	87
电费管理	86
电耗定额	92
电热开水器	177
电热元件	180
电热水器	178
电热设备	177
电热浴炉	179
电热梳	178
电热毯	178
电致发光灯	193
电圆锯	190
电钻	207
电烤箱	116
电烙铁	117
电流透入深度	153
电能计量方式	161
电能计量装置	161
电能计量装置接线	162
电能计量装置综合误差	164
电能计量管理	161
电能平衡	165
电能利用率	165
电能表	157
电能表误差	160
电能表调整	159
电能表检验	158
电推剪	190
电控设备故障自诊断	117
电梯电控系统	187
电唱机	63
电焊	90
电焊机	91
电喷枪	166

电铸	194
电渣重熔炉	192
电渣焊	192
电锤	64
电解	105
电解电源整流电路	107
电解加工	112
电解直流电源	114
电解质	115
电解整流所	112
电磁灶	66
电磁转差离合器调速	67
电磁铁	66
电磁搅拌	65
电镀	84
电熨斗	191

[J]

白炽灯	3
用户	479
用户电力调度管理	480
用户电工管理	480
用户电气事故管理	481
用户电气试验	481
用户电压无功管理	482
用户负荷计算	483
用户继电保护管理	487
用户谐波管理	487
用电	458
用电无功补偿装置	475
用电分析	464
用电功率因数	468
用电申请	475
用电负荷	465
用电负荷曲线	467
用电负荷级别	466
用电负荷调整	467
用电负荷预计	468
用电负荷率	467
用电负荷管理	465
用电安全技术	462
用电安全检查	463
用电安全管理	461
用电设备预防性试验	474
用电构成	469
用电性质	478
用电指标	478
用电保证金	464
用电监察	473
用电容量	474
用电最大需量	478

用电量	473
用电管理	472
印染工业用电	452

[、]

主令电器	533
市政公用设施用电	399
立体声放音系统	344
闪光灯	389
闪变	388
永磁直流电动机	458

[→]

发光强度	214
------------	-----

六画

[一]

扩音机	338
地下铁道	57
地下铁道用电	59
地板打蜡机	57
机组变频调速	273
机械工业用电	271
西安电炉研究所	434
有轨电车	488
有色金属工业用电	489

[1]

光电化学电池	251
光电照明控制	251
光通量	253
同步电动机	414
同步电动机励磁	416
同步电动机准同步起动	417
同时率	418

[J]

年用电最大负荷利用	
小时	366
自动照相机	541
自整角机	541
自整角变压器	541
行程开关	440
合理用电	258
合理用电标准	258
负荷开关	220
多用整发器	213
色温	388

[、]

冲击电钻	26
冲击负荷	26

冰淇淋机	16
交直流两用电动机	310
交流电气化铁道负序电流	300
交流电动机	288
交流电动机矢量控制	293
交流电动机直接起动	298
交流电动机转子串电阻	
起动	300
交流电动机制动	299
交流电动机降压起动	290
交流电动机保护	289
交流电动机起动	292
交流电动机调速	296
交流电动机频敏变阻器	
起动	292
交流电轴	301
交流-交流直接变频调速	301
交流串级调速	287
交流-直流-交流电压型变频	
调速	308
交流-直流-交流电流型变频	
调速	307
交流变极调速	286
交流脉宽调制变频调速	303
交流调压调速	305
交流整流子电动机	306
交通运输用电	310
产权分界点	22
并网管理	16
安全电压	1
安全距离	1
安全照明	1
安全照明变压器	2
农业用电	369
农村用电管理	367

[→]

异步电动机	450(222)
阳极氧化	449
防爆电机	214
红外加热	261

七画

[一]

违章用电	422
报装	8
医用电子器具	450

[1]

步进电动机	17
卤钨灯	350

时间控制器	394
-------------	-----

[J]

氙灯	436
低压电缆线路	42
低压电器	45
低压成套配电装置	41
低压线路	55
低压钠灯	50
低压架空线路	46
低压配电	51
低压配电系统接地型式	53
低压配电室	53
低压配电装置	55
低压断路器	45
低压避雷器	41
低惯量电动机	40
位置控制	423
伺服电动机	31
伺服系统	32
余热发电	489

[、]

应急照明	453
冷连轧机电控系统	340
冷饮机	342
冷冻箱	340
诊断用X射线机	517

[→]

局部照明	323
张力控制	496
纺织工业用电	216

八画

[一]

直线电动机	531
直流大电流测量装置	521
直流电动机	523
直流电动机串电阻调速	527
直流电动机制动	530
直流电动机保护	526
直流电动机恒转矩调速	527
直流电动机调速	528
直流电动机调磁调速	527
直接电阻加热设备	520
矿井提升机电控系统	337
转子串电阻交流调速	540
转差频率控制速度闭环变频	
调速	533
转速控制	534
转速频率控制	537
转速数字控制	538

转速模拟控制 535
斩波控制直流调速 495

[1]

非线性负荷 217
非独立控制调压调磁直流
调速 216
果菜去皮机 257
贮备电池 533

[J]

钎焊 378
制动器 532
制冰机 532
供电方式 240
供电方案 240
供电电源 239
供电质量 242
供电点 239
供电贴费 241
供用电协议 250
供用电合同 248
供用电规则 247
金属卤化物灯 315
受电点 400
备用电源 9
备用照明 9

[、]

变压器节电技术 13
变更用电 11
变阻器 15
变流装置节电技术 11
变频调速 12
单位产品(产值)耗电 33
单相感应电动机 33
单晶炉 33
法拉第电解定律 214
定时照明控制 207
空气去湿器 330
空气加湿器 329
空气负离子发生器 328
空气帘 329
空气清洁器 329
空调节电技术 330
房间空气调节器 215

[7]

建筑材料工业用电 284
建筑物电加热设施 284
录像机 350
居民生活用电 322
弧焊电源 262

降低线损技术 285
限电 438
组合开关 542
组合音响 543

九画

[一]

城市电车用电 24
城市给水设施用电 24
城市排水设施用电 25
指示仪表 519
指示灯 519
按钮 2
荧光灯 454
泵类节电技术 10
轻轨交通 380

[1]

显色指数 438

[J]

钠-硫蓄电池 365(441)
钢包精炼炉 230
钢铁工业用电 231
重要负荷 532
重复接地 26
复卷机电控系统 220
保安电源 6
保安负荷 6
保护接地 7
食物残渣处理机 396
食物混合器 397
食物搅拌器 397
食品工业用电 394
食盐电解 397
独立电源 210
独立控制调压调磁直流
调速 211
独轨铁路 208

[、]

亮度 347
音频电力负荷控制装置 450
音频照明控制 451
差错电量计算 20
炼钢电弧炉 344
测速发电机 19
洗衣机 434
洗碟机 434
窃电 379

[7]

屋内低压配电线安装规程 428

绕线转子感应电动机 381

十画

[一]

起动器 373
起重机电控系统 373
盐浴炉 449(179)
埋弧炉 357
埋弧焊 357
换气扇 269
热过载继电器 382
热连轧机电控系统 382
真空电阻炉 514
真空电弧炉 513
真空吸尘器 517
真空感应烧结炉 516
核磁共振成像诊断仪 259
索道电控系统 403
夏时制 436
原电池 490

[1]

眩光 447

[J]

铁合金工业用电 409
铁路信号 410
铅酸蓄电池 379(441)
氩弧焊 449(375)
特种电能表 406
特殊场所照明 405
造纸工业用电 494
倒顺开关 37
脑电图记录仪 365

[、]

高压汞灯 236
高压钠灯 237
高层建筑用电 233
高频电场加热 234
高频焊 235
离子导体 343
烘发器 260
流态粒子电炉 348
宽调速控制 336
家用电子缝纫机 283
家用电动工具 278
家用电动缝纫机 278
家用电取暖器 283
家用电炉 279
家用电器 280
家用电器能耗 281
家用电器噪声 282

调压器 408
调光照明控制 407

十一画

[一]

排油烟机 371
排灌用电 371
接电 312
接地装置 312
接线端子 313
接触电压 311
接触器 311
控制气氛电阻炉 334
控制电机 331
控制器 335
基本电费 273
营业管理 457
硅半导体整流器 254

[二]

铜工业用电 419
铜电解 418
铜铁损电量 420
铝工业用电 354
铝电解 353
笼型感应电动机 348
停电 413
船模拖车电控系统 28

[、]

混合照明 269
谐波 439

十二画

[一]

超级压光机电控系统 23
插头 21
插座 22
棉纺织工业用电 363

[二]

晶闸管相位控制直流
调速 317
黑光灯 259
黑色金属工业用电 260

[二]

锌电解 440
短网 211
氯碱工业用电 355
等离子加热 38
等离子弧焊 37

[、]

湿热带电机 390
温度控制器 424

[フ]

疏散照明 400

十三画

[一]

摄像机 390
蓄电池 441
感应电动机 222
感应加热 223
感应同步器 229
感应炉 224
感应透热设备 230
感应淬火设备 221
感应熔炼炉 226
感应器 225

[二]

照明分类 508
照明控制 510
照明器 512
照度 497
照度计算 506
照度标准 498
跨步电压 336
路灯用电 352

[二]

微波加热 421(234)
微波炉 421
微型计算机 422
触电急救 27

[、]

煤炭工业用电 360

十四画

[一]

静电 321
静电复印机 321
榨汁器 495
碱性蓄电池 284(441)
磁放大器直流调速 29
磁带录音机 28
磁浮铁路 30
需用率 441

[二]

镁电解 362
稳压器 425
调速控制 424

[、]

熔断器 386
漏电电流动作保护器 349

十五画

[二]

镍电解 366

[、]

潜水电机 379
潜油电机 379

十六画

[一]

整流器谐波 518
霓虹灯 365

[、]

燃料电池 381
激光加热 275
激光唱机 273
激光焊 274

B型超声诊断仪 3

条 目 外 文 索 引

(INDEX OF ARTICLES)

A

accurate - synchronized
starting of synchro-
nous motor 417
AC electric shaft 301
AC motor speed control
by AC - DC - AC
current source
converter 307
AC motor speed control
by AC - DC - AC
voltage source
converter 308
AC motor speed control
by pole - changing 286
AC motor speed control
by PWM frequency
converter 303
AC motor speed control
by rotor rheostat 540
AC motor speed control
by terminal voltage ... 305
adjusting of watt - hour
meter 159
after - heat generate
electricity 489
agreement of electric
power supply 250
air anion generator 328
air cleaner 329
air conditioner technolo-
gy saving electricity ... 330
air curtain 329
air dehumidifier 330
air humidifier 329
alkaline accumulator 284
alternating current
motor 288
alternating current re-
ctifier motor 306
aluminium electroly-

sis 353
amount of electricity
saving 313
analog speed control 535
annual maximum load
utilization hours 366
anodizing 449
application use elec-
tricity 475
arc furnace 93
arc - welding power
source 262
argon - arc welding 449
armature rheostat speed
control of DC motor ... 527
asynchronous motor 450
audio lighting con-
trolling 451
automatic camera 541
Auto transformer supply
system of electric
traction 134

B

basic cost 273
Beijing Central Enginee-
ring and Reseach In-
stitute for Non -
Ferrous Metal-
lurgical In-
dustries 9
Beijing under ground
railway 8
black light lamp 259
B-mode ultrasonic im-
aging 3
Booster transformer supply
system of electric
traction 134
brake 532
braking of AC motor 299
braking of DC motor 530

C

brazing 378
broadcast receiver 254
business management... 457
cage induction motor 348
calculation of energy
error 20
capacity connected of
electrical load 474
capital contribution of
power supply 241
cascade speed control
of AC motor 287
change for use elec-
tricity 11
classification of electrical
load 466
clothes dryer 221
coaxial cable supply sys-
tem of electric trac-
tion 136
cold drink maker 342
colour rendering index ... 438
colour temperature 388
combination audio 543
comb with electric
heater 178
compact player 273
component switch 542
Computerized Tomo-
graphy 277
connected electricity 312
connection of measuring
for electrical energy ... 162
contactor 311
contract of electric power
supply 248
control electrical
load 438
controlled atmosphere
resistance furnace 334

controller	335
control motor	331
cooperation in using electricity	8
copper electrolysis	418
copper - iron loss elec- tricity quantity	420
cost management	86
cost of penalty for deferred	87
CT	277
current penetration depth	153
customers electrical load	465
customer's electrician management	480
customer's load calcula- tion	483
customer's load factor ...	467

D

diagnostic X ray imaging devices	517
dielectric heating	315
digital speed control	538
dimmer lighting con- trolling	407
direct current motor	523
direct resistance heating equipment	520
direct - on - line starting of AC motor	298
discharge lamp	377
dishwasher	434
distortion load	217
division point of pro- perty	22
domestic electric stave	279
double power source in- terlocking device	401

E

earthing system of low - voltage network	53
electrical customer	479

electrical drive control system for crane	373
electrical energy bal- ance	165
electrical energy con- sumption analy- sis	464
electrical energy use	458
electrical energy used	473
electrical energy use of calcium carbide in- dustry	183
electrical energy use of constructional ma- terial	284
electrical energy use of iron alloy industry	409
electrical energy use of paper industry	494
electrical energy use of printing and dyeing industry	452
electrical energy use of resident's living	322
electrical energy use of town sewerage facili- ties	25
electrical energy use of transportation	310
electrical energy utiliza- tion of agriculture	369
electrical energy utiliza- tion of aluminium industry	354
electrical energy utiliza- tion of cement in- dustry	402
electrical energy utiliza- tion of chemical fertilizer in- dustry	265
electrical energy utiliza- tion of chemical fibre industry	268
electrical energy utiliza- tion of chemical in-	

dustry	268
electrical energy utiliza- tion of chlor-alrali industry	355
electrical energy utiliza- tion of coal in- dustry	360
electrical energy utiliza- tion of copper in- dustry	419
electrical energy utiliza- tion of cotton fabric industry	363
electrical energy utiliza- tion of ferrous met- als industry	260
electrical energy utiliza- tion of food in- dustry	394
electrical energy utiliza- tion of huge building	233
electrical energy utiliza- tion of irrigation power	371
electrical energy utiliza- tion of machinery processing in- dustry	271
electrical energy utiliza- tion of municipal public acilities	399
electrical energy utiliza- tion of nonferrous metals industry	489
electrical energy utiliza- tion of petrochemi- cal industry	391
electrical energy utiliza- tion of petroleum and natural gas development	393
electrical energy utiliza- tion of road lamp	352
electrical energy utiliza- tion of steel indus- try	231

electrical energy utilization of textile industry	216	pump	218	put value)	33
electrical energy utilization of town water supply facilities	24	electric drive control system for hot tandem mill	382	electricity saving assessment of benefit	314
electrical energy utilization of trolleybus	24	electric drive control system for mine hoist	337	electric kettle	187
electrical energy utilization of underground railway	59	electric drive control system for paper machine	22	electric lighting design ...	175
electrical energy utilization of wool fabric industry	359	electric drive control system for recoiler	220	electric light source	88
electrical heating technology saving electricity ...	104	electric drive control system for reversible cold rolling mill	325	electric load demand side management	465
electrical lighting	172	electric drive control system for reversible hot - rolling mill	327	electric locomotive	119
electrical load control system	118	electric drive control system for super-calender ...	23	electric locomotive control	126
electrical microscope	199	electric drive control system of towing carriage for ship model basin	28	electric locomotive converter	121
electrical time switch	145	electric driving control gear	147	electric locomotive machine and apparatus ...	124
electric arc heating	93	electric energy measuring management	161	electric locomotive speed control	128
electric arc welding	92	electric experiment of customer	481	electric meat grinder	81
electric bath furnace	179	electric fan	87	electric motor technology saving electricity	76
electric blanket	178	electric faule management of customer	481	electric orbital type sander	81
electric boiling water heater	177	electric furnace	153	electric oven	116
electric calculations for electric traction	140	electric furnace transformer	155	electric planer	60
electric circular saw	190	electric green shear	81	electric power dispatching management of customer	480
electric coffee maker	115	electric hair cutter	190	electric power use safety technique	462
electric consumption structure	469	electric hand dryer	221	electric power utility	458
electric drill	207	electric heating	103	electric railway	167
electric drive	145	electric heating element ...	180	electric range	191
electric drive control system	147	electric impact drill	26	electric rice cooker	85
electric drive control system for aerial ropeway	403	electric iron	117	electric rotary hammer	64
electric drive control system for cold tandem mill	340	electric iron	191	electric shave	82
electric drive control system for elevator	187	electricity consumption norm	92	electric shrub and hedge trimmer	83
electric drive control system for fan and		electricity consumption of unit product (unit out-		electric slicer	82

electrocardiograph 439
 electrochemical equiva-
 lent 97
 electrochemical industry ... 100
 electrochemical power
 source 266
 electrochemistry protec-
 tion 99
 electrochmistry 97
 electrode automatic regu-
 lator of arc furnace 95
 electrode of arc furnace ... 94
 electrode potential 103
 electrode reaction 102
 electroencephalo-graph ... 365
 electroforming 194
 electroheat installation ... 177
 electroheat installations
 for room heating
 and for heating of
 roads pipelins etc 284
 electroluminescent lamp ... 193
 electrolysis 105
 electrolyte 115
 electrolytic DC source 114
 electrolytic machining 112
 electro - magnet 66
 electromagnetic compati-
 bility of electronical
 control equipment 194
 electromagnetic stirring ... 65
 electromotive series 84
 electron beam heating 197
 electron beam welding 196
 electronic conductor 194
 electronic game 199
 electronic instruments ... 200
 electronic thermomagnetic
 wave acupuncture
 massager 201
 electroplating 84
 electropolishing 165
 electroslog remelting
 furnace 192
 electroslog welding 192
 electrostatic 321
 electric tool-grinting

machine 82
 emergency lighting 453
 energy consumption of
 household electrical
 appliances 281
 energy cost 84
 energy supply quality 242
 ENFI 9
 engle electric grinder 81
 error of watt - hour
 meter 160
 escape lighting 400
 explosion - proof motor ... 214

F

fan's teachnology saving
 electricity 219
 Faraday's law of electro-
 lysis 214
 features of electric trac-
 tion load 137
 flame retardant of elec-
 trical equipment 171
 flicker 388
 floor waxing machine 57
 fluidized bed electric
 furnace 348
 fluorescent lamp 454
 food blender 397
 food mixer 397
 food waste disposer 396
 freezer 340
 frequency converter for
 electric furnace 153
 fruit and vegetable
 peeler 257
 fuel cell 381
 fuse 386

G

galvanic corrosion 100
 gas shielded arc
 welding 375
 general lighting 449
 glare 447
 ground 312
 ground net of electrical

railway 171
 guarantee fund for use
 electricity 464

H

hair drier 64
 hair dryer 64, 260
 hair stylers 213
 halide lamp 315
 harmonic management
 of customer 487
 harmonics 439
 harmonics of electric
 traction 137
 heavy current line 211
 high DC measuring
 device 521
 high frequency electric
 field heating 234
 high - frequency
 welding 235
 high pressure mercury
 lamp 236
 high pressure sodium
 lamp 237
 household electrical
 appliance 280
 household electric drive
 tool 278
 household electric heat-
 er 283
 household electric sewing
 machine 278
 household electronic
 sewing machine 283

I

ice - cream machine 16
 ice cube maker 532
 illuminance 497
 illuminance calculation ... 506
 illuminance standard 498
 impact load 26
 important load 532
 incandescent lamp 3
 independent electric
 supply 210

indicating meter 519
 indicator lamp 519
 induction coket 66
 induction furnace 224
 induction hardening in-
 stallation 221
 induction heating 223
 induction melting fur-
 nace 226
 induction motor 222
 induction through -
 heating installation 230
 in ductor 225
 inductosyn 229
 infra - red heating 261
 inspection of customers
 power used 473
 installing rules of low
 voltage distributive
 line in building 428
 ionic conductor 343
 iterative earth 26

N

juice extractor 495

K

kara orchestra 324
 kilo watt - hour meter 157
 knife switch 36

K

ladle refining furnace 230
 laser beam welding 274
 laser heating 275
 lead accumulator 379
 leaking current of trac-
 tion load 143
 light fitting 512
 lighting controlling 510
 light rail transit 380
 light's technology saving
 electricity 174
 limitator of electrical
 load 118
 linear motor 531
 load adjustment of elec-

tric utilization 467
 load curve of electric
 utilization 467
 load duty of electric
 drive 147
 load expectation of elec-
 tric utilization 468
 local lighting 323
 low - inertia electrical
 machine 40
 low - pressure sodium
 lamp 50
 low - voltage apparatus ... 45
 low - voltage arrestor 41
 low - voltage cable 42
 low - voltage circuit
 breaker 45
 low - voltage complete
 sets switchgear 41
 low - voltage distribution
 room 53
 low - voltage line 55
 low - voltage overhead
 line 46
 low - voltage power
 distribution 51
 low - voltage switchgear ... 55
 luminaire 512
 luminaire classification ... 508
 luminance 347
 luminous flux 253
 luminous intensity 214

M

magnesium electroly-
 sis 362
 magnetic resonance im-
 aging 259
 management of electrical
 energy use 472
 management of parallel
 connection with
 power network 16
 master switch 533
 maximum demand of
 electrical load 478
 measuring device for

electrical energy 161
 medical electrical equip-
 ment 450
 metro 57
 microcomputer 422
 microwave heating 421
 microwave oven 421
 mixed lighting 269
 moist - tropical
 motor 390
 monocrystallizing furnace ...
 33
 monorail 208
 motor 69
 motor - driven toys 83
 motor trin unit 68
 MRI 259

N

Na - sodium accumula-
 tor 365
 nature of electrical
 load 478
 negative sequence current
 and voltage produced
 by AC electrified
 railways 300
 neon tubing 365
 nickel electrolysis 366
 noise emitted by the
 appliances 282
 non-contact switch 428

N

official busineec automa-
 tion 5
 oil - submerged motor ... 379
 over - all error of elec-
 trical energy meas-
 uring device 164
 over head contact line
 of electrical railway 169

P

permanent - magnet di-
 rect current motor 458
 photoelectric lighting

controlling	251
photoelectrochemical	
cell	251
photoflash lamp	389
pickup camera	390
planned use of elec-	
tricity	276
plasma arc - welding	37
plasma heating	38
player	63
plug	21
polarized electrode	102
position control	423
power factor of traction	
load	138
power factor of utiliza-	
tion point	468
power factor revised	
rate	239
power interruption	413
power receive paint	400
power supply	239
power supply for en-	
suring safety and	
reliability	6
power supply point	239
power supply system of	
electric traction	139
power supply system of	
electric traction	142
preventing test of elec-	
trical equipment	474
primary cell	490
protection of AC motor	289
protection of DC motor	526
protective earthing	7
protective load	6
public-address amplifier	338
public tram	239
pump's technology saving	
electricity	10
push button	2

Q

quota of electrical	
use	478

R

radio control system for	
electrical load	431
railway of magnetic levi-	
tation	30
railway signaling	410
range hood	371
rational use of elec-	
tricity	258
receptacle	22
record player	63
rectifier's harmonics	518
rectifier station for elec-	
trolysis	112
rectifying circuit of elec-	
trolytic power	
supply	107
reduced voltage starting	
of AC motor	290
reduce line loss tech-	
nology	285
refrigerator	61
refrigerator - freezer	61
regulation of powersupply	
and demand	247
relay protection manag-	
ement of customer	487
requirement rate	441
reserve battery	533
residual current operated	
protective devices	349
resistance furnace	203
resistance heating	203
resistance welding	201
resistor	206
reversible switch	37
rheostat	15
ripple control system	450
room air conditioner	215
rural electrical energy	
utilization manage-	
ment	367

S

safe detection of elec-	
tric power use	463

safe management of elec-	
tric power use	461
safety appliance	166
safety distance	1
safety lighting	1
safety voltage	1
salt bath furnace	449
salting liquor elec-	
trolysis	397
scheme of electric power	
supply	240
secondary load of current	
transformer and po-	
tential transformer...	263
self - diagnosis of elec-	
trical control equip-	
ment	117
selsyn	541
servomechanism	32
servomotor	31
shadowless lamp	432
shaft speed control	534
shielded arc welding	399
shock firstaid	27
shock on the human-	
body	385
silicon semi - conductor	
rectifier	254
simple feeding system of	
electric traction	144
simultaneity rate	418
single - phase induction	
motor	33
slipring induction mo-	
tor	381
soldering	378
special place lighting	405
special watt - hour me-	
ter	406
speed control by electro-	
magnetic slip clutch	67
speed control motor by	
frequency - adjusta-	
ble synchronous	
generator	273
speed control of AC	
motor	296

speed control of brushless electronically - commutated motor	429
speed control of chopper - controlled DC motor	495
speed control of DC motor by amplifier	101
speed control of DC motor by auxiliary motor - generator set	69
speed control of DC motor by changing the field current	527
speed control of DC motor by individually changing the armature voltage and the field current	211
speed control of DC motor by magnetic amplifier	29
speed control of DC motor by non individually changing the armature voltage and the field current	216
speed control of DC motor by phase - controlled thyristor	317
speed control of DC motor with constant torque	527
speed control of DC motor	528
speed control of motor	79
speed control with frequency signal	537
speed stabilizing control ..	424
squirrel cage induction motor	348
standards for rational use of electricity	258
standby electric supply	9
starter	373
starting of AC motor	292
starting of AC motor by frequency - sensitive rheostat	292
starting of AC motor by series rheostat in rotor circuit	300
stealing electricity	379
steelmaking arc furnace	344
stepping motor	17
step voltage	336
stereophonic reproduction system	344
storage battery	441
submerged arc furnace ...	357
submerged arc welding	357
substation of electric traction	135
summer time	436
switch - fuse	220
synchro control transformer	541
synchronous motor	414
synchronous motor excitation	416
T	
tachogenerator	19
tape recorder	28
technology saving electricity	314
tehometer generator	19
telemechanical compensator of electric traction	143
television receiver	184
temperature controller.....	424
tension control	496
terminal	313
test of current transformer and potential transformer	264
test of watt - hour meter	158
the reactive power compensation of industrial system and consumers installation	475
thermal over - load relay	382
time controller	394
timing lighting controlling	207
torque motor	343
touch voltage	311
tram car	488
transducer set technology saving electricity	11
transformer for saft lamp	2
transformer's technology saving electricity	13
transgression for use electricity	422
transvector control of AC motor	293
travel switch	440
trolley bus	429
tungsten - halogen lamp	350
TV set	184
types of electrical energy measure	161
types of electric power supply	240
typical torque - speed characteristic of electric drive	146
U	
underground railway	57
universal motor	310
unsymmetrical load	17
utilization rate of electrical energy	165
V	
vacuum arc furnace	513

vacuum cleaner	517	closed - loop	533	tor	379
vacuum induction sin-		variable frequency		wide range speed con-	
tering furnace	516	starting of motor	76	trol	336
vacuum resistance fur-		ventilating fan	269	working earthing	239
nace	514	video cassette recorder ...	350	wound - rotor induction	
variable frequency AC		voltage and reactive pow-		motor	381
motor speed control		er management of			
by direct AC - AC		customer	482	X	
converter	301	voltage regulator	425	xenon lamp	436
variable frequency AC		voltage regulator	408	xerographic printer	321
motor speed con-				Xian Electric Furnace	
trol	12	W		Institute	434
variable frequency AC mo-		washer	434		
tor speed control by		washing machine	434	Z	
slip - frequency con-		water electrolysis	402	zinc electrolytic dep-	
trol with speed		water - submerged mo-		osition	440

内 容 索 引

说 明

一、本索引是全卷条目和条目内容的主题分析索引。索引主题按汉语拼音字母的顺序并辅以汉字笔画、起笔笔形顺序排列。同音时，按汉字笔画由少到多的顺序排列，笔画数相同的按起笔笔形一（横）、丨（竖）、丿（撇）、丶（点）、㇀（折，包括乚、乚等）的顺序排列。第一字相同时，按第二字，余类推。罗马数字、阿拉伯数字、拉丁字母、斯拉夫字母和希腊字母开头的主题，依次排在汉字索引主题的后面。

二、设有条目的主题用黑体字，未设条目的主题用仿宋体字。

三、索引中人名一般附有人物的生卒年或活动年代，外国人名还附有原文姓和名（或名的缩写字母）。

四、索引主题之后的阿拉伯数字是主题内容所在的页码，数字之后的小写拉丁字母表示索引内容所在的版面区域。本书正文的版面区域划分如右图。

a	d
b	e
c	f

阿伦纽斯, S. A. (Svante August Arrhennius)	97e	安培, A. M. (André - Marie Ampère, 1775~1836)	70c	半导体无触点开关	429a
埃尔金顿, J. B. (J. B. Elkington)	100d	安全电压	1a	半间接照明	509f
埃鲁, P. L. T. (Paul Louis Toussaint Heroult, 1863. 4. 10~1914. 5. 9)	100f, 105b, 347c, 354f, 359c	安全间距	1c	半直接照明	509f
矮线圈炉	228e	安全接地	7c	半自动闭塞	410f
艾奇逊, E. G. (Edward Goodrich Acheson)	100f, 520e	安全净距	1c	保安备用电源	9d
爱迪生, T. A. (Thomas Alva Edison, 1847. 2. 10~1931. 10. 10)	63b, 88e, 100f, 172c, 266e, 280c, 447c, 459d	安全距离	1c	保安电源	6a
爱因斯坦, A. (Albert Einstein, 1879~1956)	276e	安全照明	1e	保安负荷	6f
安德烈, H. (H. André)	266e	安全照明变压器	2a	保安器	171d
		按钮	2d	保护电器	55b
		暗挖法	58f	保护接地	7c
		奥斯特, H. C. (Hans Christian Oersted, 1777~1851)	70c, 354f	保健器具	281d
				保险丝	387a
		白炽灯	3e	报装	8a
		拜耳法	355c	北京地铁	8d
		办公自动化	5d	北京有色冶金设计研究总院	9b
		半导体接触器	311f	贝尔德, J. L. (John Logie Baird, 1888~1946)	184c
		半导体励磁	417b	备用电源	9c
		半导体调压器	409b	备用照明	9e
				倍极比变极调速	286f
				被转供用户	479d
				泵	10c

泵类节电技术	10b
比容量	267f
比周系统	538a
闭环调节	150c
闭环稳速控制	425a
闭塞	410f
闭塞分区	411a
避雷器	41c
臂板信号机	410d
变磁调速	129e
变电所用电管理委员会	277e
变动成本	273e
变更用电	11b
变流装置	125c
变流装置节电技术	11e
变频电源	76d
变频调速	12c
变速电动机	73a
变压器节电技术	13f
变压器经济运行	15b
变压器损耗	13f
变压调速	129c
变张力控制	496b
变阻起动	127f
变阻器	15d
变阻调速	129b
标量照度	497f
标准电池	492c
标准电极势	103a
标准电能表	406e
别纳尔多斯, H. H. (H. H. Бенардос, 1842~1905)	93a, 90f
冰柜	340a
冰淇淋机	16a
丙纶	268c
并户	11d
并励直流电动机	524b
并网	16d
并网管理	16c
并网协议	251c
玻璃窑炉	520f
伯林格, P. (P. Biringer)	225b

补偿起动法	291b
不对称度	17a
不对称负荷	17a
不对称干扰	195b
不可控整流电路	107b
不可逆电磁起动器	373b
不可逆调速	535d
不可逆调速系统	79f
不溶阳极	105f
不舒适眩光	447e
步进电动机	17c
布朗, W. (W. Brown)	367d



彩色电视机	185a
餐具清洗机	434c
测光标准灯	4e
测速发电机	19a
差错电量	20a
差错电量计算	20a
差动干扰	195a
差频系统	538c
插头	21c
插座	22a
缠绕设备用的间接张力控制系统	496f
产品(产值)单耗	33e
产权分界点	22c
长弧氙灯	437c
长期工作制	147c
长网造纸机电控系统	22e
常导吸引型磁浮铁路	30f
常模干扰	195a
场静像	352a
唱头	63c
抄表	86d, 457d
超导电动机	76c
超导排斥型磁浮铁路	31a
超电位	102f
超级静像	352a
超级压光机电控系统	23e
超前角	318f
超声波钎焊	379a

超声波式空气加湿器	329c
超调	79f
超同步串级调速	287f
超音频	154a
成流体系	97b
成套式配电装置	55c
城市电车用电	24c
城市给水设施用电	24d
城市排水设施用电	25d
程序系统	149b
程序照明控制	208d
冲击电钻	26a
冲击负荷	26c
充电式干电池	490c
充压式电动机	72e
充油式电暖器	283b
重复短期工作制	147d
重复接地	26d
初始照度	498a
厨房器具	281d
处罚停电	414b
触电	385f
触电急救	27a
穿透焊	38a
传导干扰	195a
船模拖车电控系统	28a
串并联调压方法	129c
串级调速系统	530a
串励直流电动机	524b
吹风机	64a
垂熔炉	521a
垂直搅拌器	65f
垂直烧结炉	521a
纯金属电热元件	180e
瓷插式熔断器	387b
瓷管封闭式熔断器	387d
磁饱和式稳压器	426c
磁场定向控制	132d
磁场矢量控制	128e
磁带录像机	350f
磁带录音机	28e
磁电式步进电动机	17e
磁放大器	30a, 427d

磁放大器式稳压器 427c

磁放大器式无触点开关 428f

磁放大器直流调速 **29f**

磁浮列车 30d

磁浮铁路 **30d**

磁卡(电卡)电能表 407b

磁头 29c

磁性调压器 409a

磁性温控器 424d

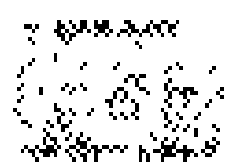
磁滞损耗 15a

磁阻电动机 415d

伺服电动机 **31d**

伺服系统 **32b**

存储器 422b



达文波特,T. (Thomas
Davenport, 1802~
1851) 70d

大工业用户 479e

大容量高压感应电动机
保护 290b

大容量高压同步电动机
保护 290d

带回流线直接供电方式 144f

带绝缘 42d

带式制动器 532e

戴维,H. (Humphry Davy,
1778~1829) 88e, 105b

丹尼尔电池 266f

丹尼尔,J. F. (John Frederic
Daniell, 1790. 3. 12~
1845. 3. 13) 85d, 100d

单板机 422d

单闭环调速系统 529f

单耗法 468d

单极性正弦波脉宽调制 304a

单极性直流参考电压
调制 303e

单极直流电动机 524a

单晶炉 **33a**

单片机 422d

单绕组变极调速 286e

单-三相交流电力机车 121a

单位产品(产值)耗电 **33e**

单向控制接收机 118f

单向智能控制机 118f

单相串励电动机 279b

单相感应电动机 **33f**

单相工频整流器电力机车的
变流 122b

单相接地保护 290c

单相接线牵引变电所 135e

单相晶闸管相位控制不可逆
直流调速 318c

单相牵引变电所 135e

单相异步电动机 34a

单相整流子电动机电力
机车 120f

刀开关 **36f**

导线 46e, 52d

倒放 352b

倒拉反转制动 531c

倒顺开关 **37b**

德普勒,M. (Marcel Deprez,
1843~1918) 70f

灯的平均寿命 89d

灯的有效寿命 89d

灯具 512e

灯具效率 512f

等离子发生器 38f

等离子弧焊 **37d**

等离子加热 **38c**

等离子体 38d

等离子体炬 38f

等效閃变值 389a

低惯量电动机 **40e**

低惯量套筒形转子电动机 40f

低惯量无槽直流电动机 41a

低炉身还原炉 357e

低频单相整流子电力机车的
变流 122a

低频电源 154b

低频交流牵引变电所 135d

低损耗变压器 15c

低同步串级调速 288c

低压避雷器 **41b**

低压侧补偿 476a

低压成套配电装置 **41e**

低压电缆线路 **42c**

低压电器 **45a**

低压电器电控设备 147e

低压断路器 **45d**

低压供电方式 240f

低压架空线路 **46c**

低压绝缘子 47f

低压开关电器 55b

低压钠灯 **50b**

低压配电 **51c**

低压配电室 **53b**

低压配电系统 51d

低压配电系统接地型式 **53d**

低压配电装置 **55a**

低压气体放电灯 377f

低压线路 **55e**

低压用户 479f

涤纶 268c

地板打光机 57d

地板打蜡机 **57c**

地铁 57f

地下铁道 **57e**

地下铁道用电 **59f**

第二电源 9c

第二类导体 343b

第三轨供电 119b

第一类导体 194d

点光源点照度计算法 506c

点焊 201f

电刨 **60d**

电冰箱 **61a**

电唱机 **63b**

电炒锅 **63e**

电车线 169c

电池 266c

电吹风 **64a**

电锤 **64e**

电磁干扰 194e

电磁滑差离合器调速 67c

电磁环境 194e

电磁换能器	29c
电磁搅拌	65b
电磁接触器	311e
电磁起动器	373b
电磁调速感应电动机	67c
电磁铁	66a
电磁灶	66c
电磁噪声	194e
电磁振动式电推剪	190a
电磁转差离合器调速	67b
电灯户	479d
电动车组	68a
电动发电机组直流调速	69b
电动机	69f
电动机变频启动	76d
电动机-发电机组直流 调速	69b
电动机节电技术	76e
电动机式电推剪	190d
电动机调速	79a
电动剪草机	81a
电动角向磨光机	81b
电动绞肉机	81e
电动力	70c
电动平板摆动式砂光机	81f
电动切片机	82c
电动刃磨砂轮机	82e
电动式定时器	394b
电动剃须刀	82f
电动玩具	83d
电动修枝机	83f
电动序	84b
电度表	157a
电度电费	84c
电镀	84d
电镀液	85a
电饭锅	85f
电费保证金	464e
电费管理	86c
电费核算	457e
电费回收	457e
电费结算协议	251a
电费滞纳金	87a

电风扇	87b
电辐射管	181e
电杆	47a
电感式镇流器	90c
电感镇流器	511b
电光源	88d
电焊	90d
电焊机	91b
电耗定额	92b
电弧电阻炉	94b,357e
电弧焊	92e
电弧焊机	91c
电弧加热	93b
电弧炉	93f
电弧炉变压器	156a
电弧炉大电流线路	211f
电弧炉电极	94d
电弧炉电极自动调节器	95d
电弧炉功率自动调节器	95d
电化当量	97b
电化序	84b
电化学	97b
电化学电池	266c
电化学防护	99c
电化学腐蚀	100a
电化学工业	100d
电化学极化	103a
电化学体系	97c
电火花高频电源	155b
电击	321b,385f
电机放大机	101e,333a
电机放大机直流调速	101d
电机压缩式冰箱	61f
电积	418e
电极	105f
电极电位	103a
电极反应	102e
电极极化	102f
电极式高频电场加热	234b
电极势	103a
电极盐浴炉	179d
电加热	103d
电加热节电技术	104c

电加热元件	180c
电接触加热器	521b
电解	105a
电解电源整流电路	107a
电解加工	112c
电解精炼	418f
电解抛光	165f
电解提取	418e
电解体系	97c
电解液	106a
电解整流所	112e
电解直流电源	114d
电解质	115c
电咖啡壶	115d
电烤箱	116e
电控设备故障自诊断	117a
电缆	42c,52d
电缆敷设	43b
电缆沟敷设	43e
电烙铁	117d
电烙印	385f
电乐器	182e
电力传动	145b
电力电容器	475d
电力电容器成套补偿 装置	476f
电力定量器	118a
电力负荷管理装置	118d
电力负荷控制装置	118d
电力机车	119a
电力机车变流	121e
电力机车电机电器	124f
电力机车控制	126e
电力机车调速	128f
电力牵引	133b
电力牵引 BT 供电方式	134f
电力牵引变电所	135d
电力牵引 CC 供电方式	136f
电力牵引负荷特征	137c
电力牵引高次谐波	137f
电力牵引功率因数	138e
电力牵引 AT 供电方式	134b
电力牵引供电方式	139f

电力牵引供电计算	140b	电气化铁路	167d	电压正弦波形畸变	243f
电力牵引供电系统	142d	电气化铁路接触网	169c	电压正弦波形畸变率	243f
电力牵引迷散电流	143c	电气化铁路接地网	171a	电眼	541b
电力牵引远动装置	143f	电气火灾	171f	电冶金	101b
电力牵引直接供电方式	144d	电气集中连锁	411f	电圆锯	190d
电力时控开关	145a	电气设备防火	171f	电源变流器	124c
电力弹性系数	460e	电气照明	172b	电晕放电	321c
电力拖动	145b	电气照明节电技术	174c	电熨斗	191a
电力拖动典型负载特性	146d	电气照明设计	175d	电灶	191e
电力拖动负载工作制	147b	电热开水器	177c	电渣焊	192f
电力拖动控制设备	147e	电热设备	177f	电渣焊机	91e
电力拖动控制系统	147f	电热梳	178a	电渣炉	192a
电流-电动势间接张力控制		电热水器	178b	电渣重熔炉	192a
系统	497b	电热毯	178e	电致发光灯	193c
电流间接张力控制系统	497a	电热浴炉	179a	电铸	194a
电流透入深度	153a	电热元件	180c	电子导体	194d
电流效率	105d	电热元件盐浴炉	179f	电子管高频电源	155c
电流型逆变器	124e	电容起动分相感应电动机 ...	35c	电子管、离子管式无触点	
电流源逆变器	124e	电容器补偿容量的确定	476c	开关	428f
电炉	153d	电容运转分相感应电动机 ...	35f	电子控制设备的电磁兼	
电炉变频电源	153f	电伤	385f	容性	194e
电炉变压器	155e	电声乐器	182c	电子乐器	200c
电炉法	409d	电石工业用电	183a	电子热磁波针灸按摩器	201c
电能表	157a	电视	184b	电子闪光灯	389d
电能表保证金	464e	电视机	184b	电子式定时器	394c
电能表检验	158d	电视接收机	184b	电子束焊	196d
电能表调整	159e	电视摄像机	390a	电子束焊机	91f
电能表误差	160c	电视游戏机	199f	电子束加热	197d
电能计量管理	161d	电枢	74c	电子显微镜	199b
电能计量装置	161f	电枢反接制动	530f	电子游戏机	199e
电能计量装置接线	162c	电枢反应	74c	电子针灸按摩器	201b
电能计量装置综合误差	164d	电枢绕组	74c	电子镇流器	90c, 511c
电能计量方式	161b	电水壶	187a	电阻电弧炉	357e
电能利用率	165a	电锁器连锁	411f	电阻焊	201e
电能平衡	165c	电梯电控系统	187c	电阻焊机	91e
电能消费	479a	电推剪	190a	电阻加热	203b
电能质量	242c	电压波动	242e	电阻炉	203d
电抛光	165f	电压波动值	388f	电阻炉变压器	156b
电喷枪	166b	电压偏差	242c	电阻起动分相感应电动机 ...	34f
电气安全用具	166e	电压潜动	159f	电阻器	206d
电气传动	145b	电压效率	105d	电阻钎焊	378f
电气串级调速	288d	电压型逆变器	124d	电阻式电烙铁	117d
电气化铁道	167d	电压源逆变器	124d	电钻	207b

吊钩	84f
吊扇	87e
定点负荷率	467d
定量电能表	407a
定时精度	394c
定时开关钟	145a
定时器	394a
定时时限	394c
定时照明控制	207e
定位控制	423b
定向照明	510a
定值(恒值)系统	148f
定子	74b
定子回路串电阻或电抗器	
起动	290f
定子绕组温度检测保护	290a
动力箱(柜)	42b
动子	74b, 531d
独轨铁路	208f
独立电源	210f
独立控制调压调磁直流	
调速	211a
堵转保护	289f
杜瓦瓶灯	50c
端子排	313d
短弧氙灯	437a
短路保护	289e
短路损耗	15a
短期工作制	147d
短网	211e
断相保护	290a
对称干扰	195a
对焊	202c
趸购电协议	251b
趸购转售	240f
趸售供电方式	240f
趸售用户	479c
盾构法	58f
多板机	422e
多闭环调速系统	530a
多电源供电方式	241a
多电源供电协议	251c
多利沃-多布罗沃利斯基,	

М. О. (Михаил Осипович
Доливо - Добровольский,
1861~1918) 71a, 145f

多流制电力机车 121c

多速电动机 73a

多用整流器 213e



额定漏电动作电流 349b

二次电池 267b, 441d

二级负荷 467a

二氧化碳气体保护焊 377a



发光强度 214a

发光天棚 450a

发光效率 89c, 316c

阀型避雷器 41c

法国的营业管理 458b

法拉第常数 214d

法拉第电磁感应定律 70d

法拉第电解定律 214d

法拉第, M. (Michael
Faraday, 1791. 9. 22~
1867. 8. 25) 70d, 85e,
97d, 214d, 362f, 459c

反接制动 299d, 530f

反抗性恒转矩负载特性 146e

反射眩光 447e

反时限特性 387b

反应式步进电动机 17f

反应式同步电动机 415d

泛光照明 510a

范德波尔, C. J. (Charles

Joseph van Depoele,
1846~1892) 488d

防爆电机 214e

房间空气调节器 215b

纺织工业用电 216c

放电 321c

放电电阻 207b

非倍极比变极调速 286f

非独立控制调压调磁直流

调速 216f

非工业用户 479d

非金属电热元件 180f

非金属电铸模型 194c

非晶合金 15c

非晶合金变压器 15c

非连续性用电 478c

非螺钉型接线端子 313c

非破坏性试验 474d

非线性负荷 217f

非转移弧式 39a

非自耗炉 514a

费拉里斯, G. (Galileo
Ferraris, 1847~
1897) 70f

费希尔, A. J. (Alva J.

Fisher) 435a

分户 11d

分流器 521d

分马力电动机 72c

分区亭 143b

分区一般照明 509c

分散型电力负荷控制

 装置 118e

分时电价 466a

分時計度电能表 406c

分相感应电动机 34e

分相机 126c

丰、枯水电价 466c

风机泵类电控系统 218b

风机节电技术 219c

风量 88b

封闭式电动机 72e

峰谷电价 466b

缝焊 202b

弗兰蒂, S. Z. (Sebastian
Ziani de Ferranti,
1864~1930) 225b

伏打, A. (Alessandro
Volta 1745. 2. 18~
1827. 3. 5) 85d,
97d, 100d, 266d

幅值调压 256a

辐射干扰 195b


辐射式电取暖器	283d
辅助安全用具	167a
腐蚀原电池	98b,100b
负荷电阻	207b
负荷开关	220b
负馈线	144f
负序电流	300e
负序电用系数	245f
负载损耗	15a
负载转矩特性	146d
附加电阻	207b
复费率电能表	406c
复合电镀	85e
复卷机电控系统	220c
复励直流电动机	524b
复印机	321e



概率统计法	140d
干电池	490c
干发器	64a
干手器	221a
干衣机	221c
干燥容量	221c
坩埚	153d
坩埚式感应熔炼炉	227f
坩埚盐浴炉	180a
泔水处理机	396c
感应淬火设备	221f
感应电动机	222d
感应发热管设施	285b
感应加热	223b
感应加热炉	230a
感应炉	224c
感应器	225e
感应钎焊	378f
感应熔炼炉	226d
感应式电烙铁	117f
感应体	226f
感应调压器	408f
感应同步器	229d,332d
感应透热设备	230a
感应移相器	332d

钢包	230e
钢包精炼炉	230e
钢包炉	230e
钢铁工业用电	231f
高层建筑用电	233a
高次谐波	439b
高供低量用户	84d
高炉法	409d
高频等离子枪	38f
高频电场加热	234a
高频电阻焊	235d
高频感应焊	235c
高频焊	235a
高频焊机	91e
高温电池	447b
高压侧补偿	475f
高压供电方式	240e
高压汞灯	236a
高压钠灯	237b
高压气体放电灯	377f
高压用户	479f
格拉姆,Z. T. (Zenobe Theophile Gramme, 1826~1901)	70e
格罗夫,W. R. (William Robert Grove,1811. 7. 11~ 1896. 8. 1)	381e
隔离开关	36f
隔膜	266f
隔膜电解	106c,366d
隔膜电解法	397f
镉电池	443f
镉-汞电池	491d
镉-银蓄电池	445e
个别补偿	476a
更名	11d
工频	154a
工频交流牵引变电所	135e
工业干扰	194f
工作接地	239b
工作停电	413f
公共电车	239c
功角特性	415c

功率间接张力控制系统	497a
功率角	415c
功率扩大机	101e
功率因数调整电费	239d
供电保证率电价	466c
供电点	239f
供电电源	239f
供电方案	240b
供电方式	240d
供电可靠率	247a
供电可靠性	246f
供电贴费	241b
供电质量	242a
供给电能量	165d
供用电规则	247b
供用电合同	248b
供用电协议	250e
汞电池	491b
汞弧整流器直流调速	529c
固定成本	273e
固定损失	285f
固定信号机	410e
固体电解质	115d
固体电解质电池	492d
固体激光器	274d
管道通风式电动机	72f
管式电阻器	206e
管状电热元件	181b
罐封式电动机	72e
光电化学电池	251e
光电遥控开关	251e
光电照明控制	252a
光放大	275d
光亮度	347f
光谱光视效率	253f
光谱光视效能	253f
光视效能	253f
光束灯	4b
光通量	253e
光效	316c
光效	89c
光照电极	251f
广播收音机	254b

硅半导体整流器	254f
硅化钼电热元件	181a
滚镀	84f
果菜去皮机	257d
过电流	526e
过电流保护	526d
过电压保护	526e
过负荷保护	289f
过户	11d
过滤气化式空气加湿器	329d
过滤式排油烟机	371e
过速保护	527a
过载保护	526f
	
哈尔斯克, J. G. (Jchann Georg Halske, 1814~1890)	332a
还原反应	97c
还原-氧化反应	97c
海比内特, N. V. (N. V. Hybinett)	367e
含氢活性气体保护焊	377a
焊机	91b
耗电定额	92d
耗能式调速方式	306a
合成法	468e
合理用电	258a
合理用电标准	258d
核磁共振成像诊断仪	259a
核磁共振法直流测量 装置	522a
核磁共振现象	259b
盒式录像机	351a
赫歇耳, F. W. (Fredeick William Herschel, 1738~1822)	262a
黑白电视机	184e
黑光灯	259d
黑色金属工业用电	260c
亨利, J. (Joseph Henry)	70d
恒磁通运行	13b
恒定辅助人工照明	510a

恒功率负载特性	146f
恒功率运行	13d
恒流起动	127f
恒速电动机	73a
恒转矩负载特性	146e
横担	47d
烘发器	260e
红外光控开关	251e
红外加热	261b
红外线	261b
红外线白炽灯	4c
红外线加热	261b
宏观电池	100c
宏观节电量	313e
弧垂	49c
弧光放电灯	89b
弧焊	92e
弧焊变压器	262f
弧焊电源	262b
弧焊发电机	263a
弧焊整流器	263a
互感器二次负载	263f
互感器检验	264a
滑差	223a
滑差电动机	67c
滑线式变阻器	15e
化肥工业用电	265a
化学电池	266c
化学电源	266c
化学工业用电	268a
化学纤维	268e
化学纤维工业用电	268c
环火	525d
缓蚀剂防护	99f
换流	124b
换气扇	269b
换向	525d
换向极	524e
换向器电动机	289a
换相	124b
辉光放电灯	88f
回馈制动	299f, 531c
回流线	143a, 144f

回收余热发电	489f
混合式半导体无触点 开关	429a
混合式步进电动机	18d
混合照明	269f
活化	85d, 533c
活套张力控制系统	497d
活性物质	267a
火法炼铜	420a
火花放电	321d
霍尔, C. M. (Charles Martin Hall, 1863. 12. 6~ 1914. 12. 27)	100f, 105b, 354f
霍耳变换器	521f

	
机电式步进电动机	17d
机械串级调速	288d
机械工业用电	271a
机械接触器	311f
机械式定时器	394b
机组变频调速	273a
基本安全用具	167a
基本电费	273d
激光	275d
激光唱机	273f, 324f
激光唱片	273f
激光焊	274c
激光焊机	91f
激光加热	275a
激光式数字音频唱机	273f
激光式数字音频唱片	273f
激活	533c
极化	102f
集中型电力负荷控制 装置	118e
计划检修停电	413f
计划停电	413f
计划限电	439a
计划用电	276f
计权声级	282d
计算负荷	483b

计算机 X 射线断层诊

断仪	277f
季节电价	466b
季节性用电	478c
季节性用户	479f
继电保护装置	487a
继电集中连锁	411f
继电连锁	411f
继电器	289e, 526d
加极性	264b
加热器	153d
加热室	153d
加热元件	180c
加斯纳, C. (C. Gassner)	490d
伽伐尼, A. L. (Aloisioo Luigi Galvani, 1737. 9. 9~1798. 12. 4)	97d
家庭音乐中心	543c
家用电动缝纫机	278c
家用电动工具	278f
家用电炉	279f
家用电器	280e
家用电器能耗	281f
家用电器噪声	282c
家用电取暖器	283a
家用电子缝纫机	283e
架空线	52d
尖峰负荷率	467d
间接电阻炉	203e
间接发	500c
间接张力控制系统	496e
间接照明	509f
减极性	264b
减容	11c
碱性锌-锰干电池	490c
碱性蓄电池	284b
碱浴炉	180a
建筑材料工业用电	284b
建筑物电加热设施	284c
键相系统	538d
降低线损技术	285e
降压起动	128a
交磁放大机	101e

交流变极调速	286d
交流测速发电机	19d
交流串级调速	287c
交流电磁接触器	311a
交流电动机	288f
交流电动机保护	289b
交流电动机降压起动	290e
交流电动机频敏变阻器	
起动	292a
交流电动机起动	292e
交流电动机矢量控制	293d
交流电动机调速	296a
交流电动机直接起动	298c
交流电动机制动	299a
交流电动机转子串电阻	
起动	300a
交流电力机车	120e
交流电力机车调速	130a
交流电气化铁道负荷	
电流	300e
交流电轴	301c
交流换向器电动机	306c
交流-交流直接变频器	302b
交流-交流直接变频调速	301f
交流接触器	311e
交流力矩电动机	343e
交流脉宽调制变频调速	303c
交流耐压试验	474f
交流式无换向器电机	
调速	429f
交流调速	296b
交流调压调速	305c
交流稳压器	426b
交流无换向器电动机	524a
交流整流子电动机	306c
交流-直流电力机车	120f
交流-直流-交流电力	
机车	121a
交流-直流-交流电流型变频	
调速	307b
交流-直流-交流电压型变频	
调速	308e
交通运输用电	310b

交直交交流	123e
交直流接触器	311e
交直流两用电动机	310f
交轴磁场电机放大机	101e
胶盖瓷底闸刀开关	220b
接触电压	311b
接触轨	58c
接触器	311c
接触调压器	408f
接触网	58c
接触线	169c
接触悬挂	169c
接地	7c
接地保护	526f
接地电阻	171c
接地体	312b
接地线	312d
接地装置	312a
接电	312f
接零保护	7f
接线端子	313a
接线头(线鼻子)式接线	
端子	313c
节电产品	315a
节电量	313d
节电效益评估	314b
节能变压器	15c
节约用电技术	314e
结晶法	355c
结晶器	192c
解汞反应	398d
介质加热	315d, 234b
借款偿还期	314d
金刚砂电炉	520f
金具	48b
金属电热元件	180c
金属电铸模型	194c
金属-空气电池	491e
金属卤化物灯	315d
金属热还原法	409e
金属浴炉	180b
紧凑型荧光灯	454e
锦纶	268c

浸沾钎焊	378f
经济鼓励法	468a
经济时	436c
经验统计法	468e
晶体管调压器	409b
晶体管中、高频电源	155a
晶闸管电动机	524a
晶闸管式调压器	409b
晶闸管相位控制可逆直流 调速	320a
晶闸管相位控制调压	131a
晶闸管相位控制直流 调速	317f
晶闸管中频电源	154f
腈纶	268c
净化式稳压器	427f
净现值	314b
净现值率	314b
净现值与净现值率法	314b
净液	366f
静子	531d
静补	477c
静差度	535b
静差率	79b, 535b
静电	321a
静电复印机	321d
静电屏蔽	321b
静电中和	321c
静放	352a
静止无功补偿装置	477c
静子	74b
居民生活用电	322c
局部照明	323b
矩角特性	415e
绝缘安全用具	167a
绝缘层	42d
绝缘电阻计	474e
均匀的一般照明	509b
均匀漫射照明	509f
	
卡拉 OK	324a
卡拉 OK 激光唱片	324f

卡拉 OK 激光视盘	325a
卡拉 OK 镭射影碟	325a
卡拉 OK 录像带	324f
卡拉 OK 录音带	324e
卡斯特纳, H. Y. (Hamilton Young Castner)	100e, 363a
开闭所	143c
开关电器	45b
开关稳压器	426a
开环调节	150c
开环稳速控制	424f
开机自诊断	117c
开启式电动机	72e
坎德拉	214c
抗干扰	196c
壳式真空电弧熔铸炉	514c
可变磁阻式步进电动机	17f
可变损失	285f
可控气氛电阻炉	334a
可控整流电路	107b
可逆冷轧机电控系统	325c
可逆热轧机电控系统	327c
可逆式电磁起动器	373b
可逆调速	535c
可逆调速系统	79f
可燃气发电	490a
可溶阳极	105f
克莱麦尔, W. (W. Kramer)	521d
空气电池	492b
空气断路器	126b
空气负离子发生器	328f
空气加湿器	329c
空气接触器	311e
空气净化器	329f
空气帘	329e
空气清洁器	329f
空气去湿器	330b
空气湿电池	492b
空调节电技术	330f
空调器	215b
空调器具	281b

空载损耗	13f
控制电机	331e
控制电器	45a
控制气氛	334b
控制气氛电阻炉	334a
控制器	335e
控制台 (集控台)	42a
跨步电压	336b
跨座式独轨铁路	209f
块式制动器	532d
快速电烙铁	117f
快速过流保护	527a
快速熔断器	387e
快速重放	352b
宽调速控制	336c
宽调速直流伺服电动机	336e
矿井提升机电控系统	337d
矿热炉	94b, 357e
矿山法	58f
框架式电阻器	206f
馈电线	142f
扩音机	338e



拉朗德电池	492a
拉线	48e
烙铁钎焊	378f
勒克朗谢电池碳	490c
勒克朗谢, G. (Georges Leclanché, 1839~ 1882. 9. 14)	100e, 490c
镭射唱机	324f
楞次, Э. X. (Эмилий Христианович Ленц, 1804~ 1865)	70e
冷冻箱	340a
冷连轧机电控系统	340c
冷凝器	61d
冷饮机	342f
离线自诊断	117d
离心式电吹风	64c
离心式空气加湿器	329c

离子导体	343b
离子溅射	39d
离子刻蚀	39d
离子膜电解法	399b
离子渗	39d
离子蒸镀	39d
离子注入	39d
理查德森, E. (Earl Richardson)	191a
锂电池	492e
力矩电动机	343b
立体声放音系统	344b
励磁变阻器	16a
励磁单闭环控制方式	217e
励磁绕组	74b
励磁双闭环控制方式	217a
利特伦基, L. (L. Litrange)	100e
利用系数法	507f
连锁	411e
连续波激光焊	274f
连续镀	85a
连续性用电	478c
炼钢电弧炉	344d
两部制电价	273e
亮度	347f
列车运行控制系统	412d
临时供电方式	241a
临时供电协议	251d
临时停电	414a
临时用户	479f
零励磁保护	526e
流明法	508a
流态粒子电炉	348c
笼型感应电动机	348e
笼型绕组	348f
漏电保护	290a
漏电保护器	349b
漏电流动作保护器	349b
漏电断路器	350a
漏电开关	349b
炉膛	153d
炉外法	409e

炉中钎焊	379a
卤钨灯	350b
鲁宾, S. (Samuel Ruben)	266e, 491b
录像机	350f
录音机	28f
路灯用电	352f
轮廓控制	423b
螺钉型接线端子	313c
裸导线	46e
铝电解	353e
铝电解槽	354b
铝工业用电	354f
氯碱工业用电	355f

M

埋弧焊	357a
埋弧炉	357e
麦加夫南, I. W. (Ives W. McGaffney)	517b
脉冲电动机	17c
脉冲电镀	85e
脉冲弧焊电源	263c
脉冲激光焊	274f
脉冲控制直流调速 ...	495c, 529d
脉冲氙灯	389f, 437f
脉冲氢弧焊	376e
脉冲整流器	132f
脉宽调制	303c
慢速重放	352a
毛纺织工业用电	359d
锚段	170b
梅曼, T. H. (Theodore Harold Maiman, 1927~)	276e
煤炭工业用电	360d
镁电解	362a
镁电解槽	362d
迷散电流	137d
密封式电动机	72e
棉纺织工业用电	363c
敏化	85d
明挖法	58e

模拟系统诊断法	117b
穆瓦桑, H.	359c

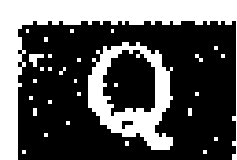
N

钠-硫蓄电池	365a
脑电图记录仪	365a
内部干扰	194f
内部收益率	314c
内部收益率法	314c
能耗制动	299a, 530d
能级	275b
霓虹灯	365d
逆变角	318f
逆变器	121e
年用电负荷曲线	467f
年用电最大负荷利用 小时	366b
镍电解	366c
凝壳炉	514c
凝壳式感应炉	228f
农村用电管理	367e
农业生产用户	479e
农业用电	369d
浓差极化	103a
浓差原电池	100c
暖风机	283c
诺模图	476d
诺思拉普, F. F. (F. F. Northrup)	225b

P

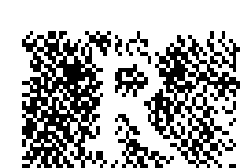
帕奇诺蒂, A. (Antoni Pacinoti, 1841~ 1912)	70e
排灌用电	371a
排气(风)扇	269c
排油烟机	371e
泡式咖啡壶	116a
培根, F. T. (F. T. Bacon) ...	381e
配电电器	45a
配电方式	52f
配电屏	41f
喷射式冷饮机	342f
劈相机	126c

皮带抱闸 532e
 皮喇尼, M. V. (M. Von Pirani) 198c
 皮罗茨基, Ф. А. (Федор Аполлович Пироцкий, 1845~1898) 70f
 漂洗比 435e
 漂洗效率 435e
 频率电压变换器系统 537f
 频率偏差 246c
 频敏变阻器 15e, 292b
 频敏起动器 373d
 平均日负荷率 467c
 平均行车量法 140c
 平均用电负荷 465d
 平均照度算法 506f
 平均柱面照度 498a
 破坏性试验 474d
 普朗特, G. (Gaston Planté, 1834~1889) 100e, 266e, 447c
 普通工业用户 479e



启辉器 455d
 起动变阻器 15e
 起动补偿器 291b, 373c
 起动电流 293a
 起动电阻 207a
起动器 373a
 起动绕组 416c
 起动调速变阻器 16a
 起动转矩 292f
 起重电磁铁 66e
起重机电控系统 373f
 气氛 334a
 气密式电动机 72e
气体保护电弧焊 375e
 气体保护焊 375e
气体放电灯 377c
 气体放电光源 88f
 气体辉光放电灯 365d
 气体激光器 274d

汽车白炽灯 4c
 迁址 11d
钎焊 378d
 牵引变压器 125d
 牵引电磁铁 66d
 牵引电动机 125a
 牵引电机电器 124f
铅酸蓄电池 379b
 潜动 159f
潜水电机 379c
潜油电机 379d
 嵌入式照明 450a
 强迫换流 12f, 297d
 强制对流式电暖器 283c
窃电 379f
轻轨交通 380b
 轻轨铁路 380b
 清洁器具 281c
 琼格纳, W. (W. Jungner) 447c
 区熔法 33d
 区熔法单晶炉 33d
 区熔炉 33b
 趋肤效应 153a, 223d
 取暖器具 281c
 全并联接线牵引变电所 135e
 全寿命 455d
 全压起动 298c



燃料电池 381a
 燃烧式闪光灯 389b
绕线转子感应电动机 381f
 绕组 74b
 热泵设施 284d
 热泵型空调器 216a
 热电冰箱 62d
 热辐射光源 88f
热过载继电器 382b
 热继电器 382b
热连轧机电控系统 382d
 热敏电阻温控器 424e
 热蒸气式空气加湿器 329d
 人工接地体 312c

人工接地线 312e
 人工控制 126e
人体触电 385f
 日本的营业管理 458a
 日光灯 454d
 日用电负荷曲线 467e
熔断器 386f
 熔断器式刀开关 37b
 熔焊 90e
 熔化极惰性气体保护焊 377a
 熔化极气体保护焊 376c
 熔体 387a
 熔透焊 38a
 熔盐电解 106c
 熔盐电解质 115d
 软电热元件 182b
 软钎焊 378e
 弱磁调速 527f



三倍频电源 154b
 三倍频器 154b
 三电 473c
 三电办公室 277e
 三级负荷 467b
 三相-二相牵引变电所 136c
 三相晶闸管相位控制不可逆
 直流调速 318f
 三相牵引变电所 136a
 三相异步换向器电动机 306d
 三遥控制终端机 118f
 色表 89d
 色灯信号机 410d
色温 388a
闪变 388d
闪光灯 389b
 摄像管 390c
摄像机 390a
 渗滤式咖啡壶 115d
 渗银 85d
 生产备用电源 9d
 声控开关 451a
 声像器具 281d

- 剩余电荷 386f
 剩余电荷触电 386e
 剩余电流动作保护器 349b
 失步保护 290d
 失明眩光 447e
 失能眩光 447e
 施拉盖电动机 306d
 湿电池 491f
湿热带电机 **390f**
 湿式电池 251e
 石墨电极 94e
 石墨电热元件 181b
 石墨化电炉 520c
石油化学工业用电 **391a**
石油及天然气开采用电 **393a**
 时基发生器 199f
时间控制器 **394a**
 时间历程特性 282d
 时序照明控制 208c
 拾音头 63c
食品工业用电 **394d**
食物残渣处理机 **396c**
食物混合器 **397a**
食物搅拌器 **397c**
食盐电解 **397e**
 史密斯, H. E. (Hamilton
 E. Smith) 434f
 史密斯, O. (Oberlin Smith) ... 28f
 矢量变换控制 294a
 矢量控制法 132d
市政公用设施用电 **399d**
 事故停电 413e
 事故限电 438f
 视觉信号 410c
 视在功率 465c
 收费 86e
 收音机 254b
手弧焊 **399f**
受电点 **400c**
 受电弓 126a
 受电装置 400c
 受激辐射 275c
 受激吸收 275b
 售电量 474a
疏散照明 **400d**
 数控式稳压器 427e
 数字电动机 17c
 数字系统诊断法 117b
 刷镀 85a
 刷形放电 321d
双电源连锁装置 **401c**
 双电源用户 479f
 双极性正弦波脉宽调制 304b
 双金属片温控器 424c
 双馈电机调速 287f
 双绕组变极调速 286e
 双向控制终端机 118f
 双值电容分相感应电动机 ... 36a
水电解 **402a**
水泥工业用电 **402e**
 水溶液电解 105e
 水溶液电解质 115d
 水银电解法 398c
 斯科特接线变电所 136c
 斯奈德, H. (Howard
 Snyder) 435a
 斯潘格勒, J. M. (J. Murray
 Spangler) 517b
 斯潘塞, P. L. (Percy L.
 Spencer) 421b
 斯佩克托尔, C. A. (C. A.
 Спектор) 522a
 斯普拉格, F. J. (F. J.
 Sprague) 488d
 四象限变流器 132f
 四象限控制 132f
 苏门, J. (John Thurman) ... 517b
 速差制信号 410d
 塑料电缆 42e
 随动系统 149a
 损耗电能表 407b
 损失电能量 165d
索道电控系统 **403c**

 他励直流电动机 524b
 他励冷式电动机 72f
 台扇 87d
 弹簧抱闸 532d
 探照式色灯信号机 410e
 碳化硅电炉 520f
 碳化硅元件 180f
 碳素电极 94d
 碳-锌干电池 490c
 汤姆逊, E. (Elihu Thomson,
 1853~1937) 71a,
 91a, 203a
特殊场所照明 **405a**
 特斯拉, N. (Nikola Tesla,
 1856~1943) 70f
特种电能表 **406a**
 调车信号 410d
 调光开关 407c
调光照明控制 **407c**
 调节安 473c
 调速比 79c, 535e
 调速变阻器 16a
 调速电动机 73d
 调速范围 79c, 535e
 调速精度 79b
 调速平滑性 79c
 调温型电熨斗 191c
 调相机 476f
调压器 **408e**
 调整电阻 207a
 铁磁谐振式稳压器 426c
 铁电池 443f
 铁坩埚炉 228e
铁合金工业用电 **409c**
 铁壳开关 220c
铁路信号 **410a**
 铁损 13f
 铁损电量 420e
 听觉信号 410d
停电 **413d**
 通风器具 281c
 通风扇 269c
 通用电动机 310f
 同步补偿机 414f

同步补偿器	476f
同步测速发电机	19d
同步电动机	414d
同步电动机的异步起动	298f
同步电动机励磁	416e
同步电动机准同步起动	417f
同步调相机	414f
同步转速	289a
同时率	418d
同轴电缆	136f
同轴电缆供电方式	136f
铜电解	418e
铜工业用电	419e
铜损	15a
铜损电量	420e
钢铁损电量	420d
投币电能表	407a
投光白炽灯	4b
投资回收期	314d
投资回收期法	314d
投资借款偿还期法	314d
透镜式色灯信号机	410e
透热	230b
凸焊	202b
凸轮控制器	336a
推斥电动机	306f
退补电量	20d
托收	457f
脱离电源	27a
脱水率	435e
驼峰调车控制系统	413a



瓦形垫式接线端子	313c
外部干扰	195a
外部设备	422c
外加电流法	99e
委托代理供电	479d
委托供电方式	241a
委托转供电协议	251a
微波	421c
微波加热	421a
微波加热	234c

微波炉	421a
微处理器	422b
微电池	100c
微观节电量	313e
微弧焊	38b
微束焊	38b
微型计算机	422a
韦斯顿电池	492c
违章用电	422e
维持照度	498a
维纶	268c
位势性恒转矩负载特性	146f
位置控制	423a
温度控制器	424a
湿感压力式温控器	424b
温控器	424a
稳定电阻	207b
稳速精度	79d, 424e
稳速控制	424e
稳压变压器	427a
稳压器	425e
涡流损耗	13f
涡流型电熨斗	191b
沃德-列奥纳德传动	69d
卧式无心感应炉	229a
钨极惰性气体保护焊	376b

屋内低压配电线安装

规程	428a
无触点开关	428e
无触头接触器	311f
无功功率	465c
无轨电车	429b
无换向器电动机	523f
无换向器电机调速	429e
无级控制	126f
无级调速	79c
无静差调速	535c
无刷励磁系统	417e
无刷直流电动机	523f
无刷直流力矩电动机	343d

无线电电力负荷控制

装置	431f
无心感应熔炼炉	226e

无心炉	227e
无影灯	432d
无整流子电动机	523f
伍德桥接线变电所	136d



西安电炉研究所	434a
西利, H. W. (H. W. Seely) ...	191a
西门子, K. W. (Karl wilhelm Simens)	347c
西门子, E. W. (Ernst Werner von Siemens, 1816. 12. 13 ~1892. 12. 6)	100f, 331f, 429b

吸尘器	517b
吸流变压器-钢轨供电 方式	135c
吸流变压器-回流线供电 方式	135a
吸收式冰箱	62b
牺牲阳极法	99d
洗涤容量	434f
洗碟机	434c
洗净比	435e
洗净率	435e
洗碗机	434c
洗衣干衣机	221c
洗衣机	434f
系统接地	239b
系统软件	422c
夏时制	436c
氙灯	436f
氙气闪光灯	389f, 437f
显色性	89d
显色指数	438a
限电	438d
限流式断路器	46b
线路用电管理委员会	277e
线损	285f
线损表	407b
线损率	285f
线性稳压器	425f
响应时间	79d

相对稳定性	535b	压敏避雷器	41d	异步测速发电机	19e
相间短路保护	290b	压缩机	61c	异步电动机	450d,222d
相控调压	131a	压缩式冰箱	61f	阴极	105f
相位控制调压	256c	雅科比, M. H. (Moritz		阴极保护	99c
橡皮电缆	42e	Hermann von Jacobi;		阴极保护法	143e
销户	11d	Борис Семёнович Якоби,		阴极反应	105c
谐波	439b	1801~1874)	70e,	音频电力负荷控制装置	450d
谐波源	218a,		85e,100e,145f	音频照明控制	451a
	244d,439b,487e	氩弧焊	449a	音声多重盒式卡带	324e
心电图记录仪	439c	延边三角形起动	291e	银电池	445b
心肺复苏法	27e	延迟角	107c,318f	银行储蓄存款付费	457f
芯绝缘	42d	延时照明控制	207c	银行分次划拨付费	457f
锌电解	440b	盐液蒸汽电熨斗	191b	隐蔽形照明	450a
锌-汞电池	491b	盐浴炉	449a,179d	印染工业用电	452c
锌-空气蓄电池	446b	阳极	105f	应急灯	10a
锌-锰干电池	490c	阳极保护	99e	应急照明	453c
锌-银蓄电池	445b	阳极钝化	99f	应用软件	422d
信号表示器	410f	阳极反应	105c	荧光灯	454c
信号机	410d	阳极溅射	39e	营业管理	457a
星-三角换接起动	291d	阳极泥	105d,419a	硬件	422b
星-三角起动器	373c	阳极氧化	449b	硬件系统	422b
行车调度控制系统	412b	氧化反应	97c	硬钎焊	378e
行车信号	410d	氧化锌避雷器	41d	硬设备	422b
行程开关	440e	摇表	474e	永磁感应子式步进电	
行灯变压器	2a	药芯焊丝电弧焊	377a	动机	18d
行政干预法	468a	液结太阳电池	251e	永磁式步进电动机	17e
需求侧管理	466f	液体变阻器	15e	永磁直流电动机	458e
需要系数	441b	液压制动电磁铁	66d	永久性阴极电解法	419b
需用率	441a	液压制动器	532f	用电	458f
蓄电池	441b	一般防护安全用具	167a	用电安全管理	461f
蓄冷技术	331d	一般照明	449c	用电安全技术	462c
悬浮式感应炉	229a	一般直接供电方式	144d	用电安全检查	463d
悬挂式独轨铁路	209f	一查四定	277c	用电保证金	464d
旋臂滑线式变阻器	15e	一次电池	267b,490b	用电分析	464f
旋转变频机	154e	一级负荷	467a	用电负荷	465c
旋转变压器	332d	医用电子器具	450b	用电负荷管理	465e
旋转磁场搅拌器	65c	依尔格纳发电机组	69e	用电负荷级别	466f
选路制信号	410d	移表	11d	用电负荷率	467b
选择排流法	143e	移动闭塞	411e	用电负荷曲线	467d
眩光	447e	移动磁场搅拌器	65d	用电负荷调整	467f
雪糕机	16a	移动信号机	410f	用电负荷预计	468c
		移圈调压器	409a	用电功率因数	468f
		移相调压	131b	用电构成	469c
压焊	90e				

用电管理 472b
 用电监察 473a
 用电量 473f
 用电容量 474a
 用电设备预防性试验 474c
 用电申请 475a
 用电无功补偿装置 475c
 用电性质 478b
 用电需量 406b
 用电指标 478d
 用电最大负荷 465d
 用电最大需量 478f, 406b
 用电最低负荷 465d
 用户 479a
 用户电工 480a
 用户电工管理 480a
 用户电力调度管理 480e
 用户电气事故 481c
 用户电气事故管理 481c
 用户电气试验 481e
 用户电压无功管理 482b
 用户负荷估算 487a
 用户负荷计算 483a
 用户继电保护管理 487a
 用户谐波管理 487e
 油浸接触器 311e
 油浸起动变阻器 15e
 油浴炉 180b
 有触头接触器 311f
 有功功率 465c
 有轨电车 488c
 有级控制 126f
 有静差调速 535b
 有色金属工业用电 489a
 有效电能量 165d
 有心感应熔炼炉 226e
 有心炉 226e
 右手定则 74a
 余能压差发电 489f
 余热发电 489d
 娱乐器具 281d
 浴剂 179b
 预付电费电度表 407a

原电池 490a
 圆环效应 226b
 远红外线电暖器 283d
 运动轨迹控制 423b
 运行图法 140e
 运行象限 79e
 熨烫器具 281c



再生制动 299f, 531c
 在线自诊断 117c
 暂停 11c
 造液 367c
 造纸工业用电 494a
 噪声 88b
 闸刀开关 36f
 榨汁器 495a
 詹金斯, C. F. (Charles Francis Jenkins, 1867~1934) 184c
 斩波控制直流调速 495b
 斩波器 495c
 斩波调速 129f
 张力复合控制 496e
 张力控制 496a
 张力控制系统 496c
 兆欧表 474e
 照度 497e
 照度标准 498e
 照度计算 506c
 照度均匀度 498b
 照明方式 508c
 照明分类 508c
 照明控制 510b
 照明器 512e
 照明矢量 498d
 照明箱(柜) 42b
 照明用户 479d
 罩极感应电动机 36c
 针弧焊 38b
 帧静像 352a
 真空电弧炉 513f
 真空电阻炉 514f

真空度 514f
 真空断路器 126b
 真空感应熔炼炉 228f
 真空感应烧结炉 516e
 真空接触器 311e
 真空钎焊 379a
 真空式咖啡壶 116a
 真空吸尘器 517b
 诊断用X射线机 517f
 镇流器 90c, 455e
 蒸发器 61d
 蒸汽喷雾型电熨斗 191c
 蒸汽型电熨斗 191c
 整流器 121e
 整流器电力机车 120f
 整流器谐波 518b
 整容器具 281c
 正弦能量分配式稳压器 427f
 织物磨损率 435e
 指示灯 519c
 指示仪表 519d
 直供用户 479c
 直接变频器 12d, 288a, 302b
 直接触电 386e
 直接电气排流 143e
 直接电阻加热设备 520b
 直接法 500c
 直接力矩控制 132d
 直接埋地敷设 43c
 直接式交流电力机车 120f
 直接眩光 447e
 直接张力控制系统 496c
 直接照明 509e
 直接转矩控制 128f
 直拉法单晶炉 33b
 直流比较仪 522c
 直流测速发电机 19b
 直流大电流测量装置 521b
 直流电动机 523e
 直流电动机保护 526c
 直流电动机串电阻调速 527a
 直流电动机电枢串并联调速 528f

直流电动机电枢串联升压发
电机调速 529b

直流电动机恒功率调速 528a

直流电动机恒转矩调速 527d

直流电动机调磁调速 527e

直流电动机调速 528d

直流电动机制动 530d

直流电力机车 120d

直流电力机车的变流 122a

直流电力机车调速 129b

直流电流互感器 521d

直流电能表 407a

直流发电机-电动机组
调速 69b

直流恒转矩调速 527d

直流接触器 311d

直流快速断路器 46b

直流力矩电动机 343c

直流励磁机励磁 417a

直流牵引变电所 135d

直流式无换向器电机
调速 429f

直流调磁调速 527e

直流调速 528d

直流稳速电动机 333b

直流稳压器 425e

直流无换向器电动机 524a

直流斩波变流 123d

直(接)排(放)式排油
烟机 371e

直线电动机 531d

纸绝缘电缆 42e

制冰机 532a

制动电磁铁 66d

制动器 532d

制冷量 215b

制冷器具 281b

滞纳金 87a

中断供电 532f

中、小容量低压感应电动机
保护 289e

重要负荷 532f

重要用户 480a, 533a

周波变流器 12d, 288a, 302b

周期反向电流电解法 419a

周休日电价 466b

周用电负荷曲线 467e

轴角编码器 332f

轴流式电吹风 64c

逐点计算法 507c

烛光 214b

主变压器 125d

主磁极 524d

主断路器 126b

主观法 500c

主极 74c, 524d

主令电器 533a

主令开关 533b

主令控制器 336a

贮备电池 533b

柱式接线端子 313c

铸铁式电阻器 207a

专线用户 479f

转差 223a

转差控制 128e

转差控制法 132b

转差率 223a

**转差频率控制速度闭环变频
调速 533d**

转供用户 479c

转速反向的反接制动 531b

转速控制 534d

转速模拟控制 535f

转速频率控制 537e

转速全数字控制 539b

转速数字控制 538e

转速数字模拟控制 538f

转向架 488f

转页式电风扇 88a

转移弧式 39b

转子 74b

转子串电阻交流调速 540d

转子交流-交流变流方式超同
步串级调速 288a

转子交流-直流-交流变流方
式超同步串级调速 287f

装表接电 312f

装配式配电装置 55c

装有电子器件的电控
设备 147e

兹沃雷金, V. K. (Vladimir
Kosma Zworykin,
1889~1982) 184c, 280d

自焙电极 94f

自动闭塞 411a

自动断路器 45d

自动化电气控制设备 147f

自动开关 45d

自动空气开关 45d

自动控制 126f

自动照相机 541a

自发辐射 275b

自耗电板 95c, 513f

自耗炉 513f

自来水设施 24e

自冷式电动机 72f

自偶变压器所 143c

自耦变压器 291b

自耦变压器供电方式 134c

自耦变压器降压起动 291b

自耦减压起动器 373c

自然对流式电暖器 283a

自然对流式电取暖器 283a

自然干扰 194f

自然功率因数 469b

自然换流 12f, 297d

自然换相点 107c

自然接地体 312b

自然接地线 312d

自然气氛 334a

自然气氛电阻炉 204a

自扇冷式电动机 72f

自同步机 541e

自同步控制 429f

自镇流高压汞灯 237a

自整角变压器 541d

自整角电机 541e

自整角机 541a

自转 32a

综合起动器	373e	I 类工具	279e	MIG 焊	376b
综合照明	509c	II 类工具	279e	PAR 型灯	4b
走收	457f	AT 所	143c	PTC 式电烙铁	117f
阻抗不平衡系数	212e	B 超	3a	PWM 型变频器	303d
组合开关	542f	B 型超声诊断仪	3a	TIG 焊	376b
组合音响	543c	CD	324f	TN-C-S 系统	54f
最大需量电能表	406b	CD 唱机	273f	TN-C 系统	54d
最小成本计划	466e	CD 唱片	273f	TN-S 系统	54f
左手定则	73c	CT	277f	TT 系统	54c
坐收	457f	CT 值	278b	UPS	6c
		IT 系统	53f	V 接线牵引变电所	135f
		LD	325a	V 形曲线	415f
I 类工具	279e	MAG 焊	376e	X 线	517f

综合起动器	373e	I 类工具	279e	MIG 焊	376b
综合照明	509c	II 类工具	279e	PAR 型灯	4b
走收	457f	AT 所	143c	PTC 式电烙铁	117f
阻抗不平衡系数	212e	B 超	3a	PWM 型变频器	303d
组合开关	542f	B 型超声诊断仪	3a	TIG 焊	376b
组合音响	543c	CD	324f	TN-C-S 系统	54f
最大需量电能表	406b	CD 唱机	273f	TN-C 系统	54d
最小成本计划	466e	CD 唱片	273f	TN-S 系统	54f
左手定则	73c	CT	277f	TT 系统	54c
坐收	457f	CT 值	278b	UPS	6c
		IT 系统	53f	V 接线牵引变电所	135f
		LD	325a	V 形曲线	415f
I 类工具	279e	MAG 焊	376e	X 线	517f